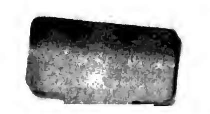
RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LE CHAUX DE CONSTRUCTION, LES BÉTONS ET LES...

Louis Joseph Vicat





RECHERCHES
SUR LES MORTIERS.

DE L'IMPRIMERIE DE P. DIDOT, L'AINÉ,
CHEVALIER DE L'ORDRE ROYAL DE SAINT-MICHEL,
IMPRIMEUR DU ROI.

RECHERCHES
EXPÉRIMENTALES
SUR
LES CHAUX DE CONSTRUCTION, LES BÉTONS ET LES MORTIERS ORDINAIRES;

PAR L. J. VICAT,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
INGÉNIEUR DU CORPS ROYAL DES PONTS ET CHAUSSÉES DE FRANCE.

> Quelque respectable que soit une autorité en fait de science et d'art, on peut toujours la soumettre à l'examen. On n'aurait jamais fait un pas vers la vérité, si l'autorité eût toujours prévalu sur la raison.
>
> DUCLOS.





A PARIS,

CHEZ GOUJON, LIBRAIRE DE LL. AA. RR. Mme LA DUCHESSE DE BERRY
ET Mme LA DUCHESSE D'ORLÉANS,
RUE DU BAC, N° 33.

M. DCCC. XVIII.

A M. CHABERT,

PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUES,
DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES
ET MEMBRE DE L'ACADÉMIE
DE GRENOBLE,

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR,
MON PREMIER MAITRE,
MON CONSTANT AMI;

HOMMAGE
D'ATTACHEMENT ET DE RECONNAISSANCE,
DE SON NEVEU
L. J. VICAT.

PRÉFACE.

L'UTILITÉ qui paraît attachée aux résultats réunis dans cet ouvrage, m'a déterminé à le soumettre au Conseil des Ponts et Chaussées, et à l'Institut de France.

L'heureuse issue de l'examen qu'on a bien voulu en faire, m'autorise à le présenter au public avec moins de défiance. Mon respect pour mes juges, leur extrême bienveillance et ma profonde gratitude m'imposent le devoir de consigner ici des extraits des rapports dont ce travail a été le sujet.

Je m'empresserais de produire ces rapports tout entiers, et ce serait faire au lecteur un utile présent, si je n'avais la certitude qu'il n'en sera pas privé. Ils doivent lui parvenir revêtus d'un caractère plus authentique.

L'ordre d'antériorité dans lequel les rapports ont été faits, règle celui des extraits qu'on va lire.

Extrait du Rapport lu au Conseil des Ponts et Chaussées par M. l'Inspecteur général BRUYÈRE.

« LES différentes espèces de chaux de construction, ainsi que la composition et les propriétés des mortiers, ont été l'objet des recherches d'un grand nombre de savants et d'artistes distingués. On doit à la chimie

moderne d'avoir tracé la véritable route à suivre pour arriver à une théorie complète sur cette matière ; et, pour en rendre les résultats applicables aux arts, MM. Chaptal, Faujas de Saint-Fond, Guyton, Descotils et beaucoup d'autres, s'en sont particulièrement occupés. M. Vicat, en entrant dans la carrière, a d'abord suivi les traces de ceux qui l'avaient devancé ; ce qu'il n'a pas manqué de faire connaître : mais, partant ensuite du point où ils s'étaient arrêtés, il a franchi l'intervalle qui séparait encore le laboratoire du chimiste des grands ateliers de construction. Il fallait, pour ainsi dire, populariser la science, et trouver un moyen facile et peu dispendieux d'obtenir, par la synthèse, ce qu'on avait découvert à l'aide de l'analyse.

« Il est bien rare, sans doute, de parvenir à ces découvertes extraordinaires qui font époque dans les sciences et les arts. Les hommes les plus instruits et les plus zélés s'estiment heureux lorsqu'ils ont fait faire un pas à la science, et je crois pouvoir dire que M. Vicat est de ce nombre. Il a sur-tout le mérite essentiel d'avoir appliqué ses connaissances à la recherche d'un objet de la plus grande utilité, et dont l'usage peut s'étendre d'un bout du monde à l'autre. Quelque part que l'on puisse accorder aux savants qui ont précédé M. Vicat dans les observations dont il a déduit sa théorie, on ne peut se refuser à reconnaître que son Mémoire renferme plusieurs idées neuves et des résultats positifs qui, jusqu'à présent, n'avaient pas même été indiqués. . . . . .

. . . .

« Les avantages qui doivent résulter, pour les travaux publics et particuliers, de la propagation des nouveaux procédés et de la théorie de M. Vicat, lorsque l'essai en aura été fait en grand, sont inombrables. Ils dispenseront de l'emploi dispendieux des véritables pouzzolanes, et notamment de celles connues sous le nom de ciment, dont les qualités, souvent douteuses, ont compromis beaucoup de constructions ; de celui

des pierres de grandes dimensions, prodiguées dans les édifices modernes, malgré tant d'exemples contraires offerts par les Romains et les Goths; ils permettront enfin d'user comme eux des ressources précieuses que présentent nos briques, nos matériaux de petites dimensions, et d'imiter les stucs dont ils ont fait un si grand usage.

« Enfin les jeunes artistes ayant désormais la certitude de pouvoir imiter avec succès les moyens par lesquels les anciens ont su réunir, dans leurs constructions, la solidité et l'économie, ne se borneront plus à étudier les formes extérieures de leurs édifices.

« Mais c'est sur-tout dans les travaux des ponts et chaussées, que l'emploi des mortiers hydrauliques trouvera fréquemment son application, et spécialement dans la construction des radiers, des bajoyers des écluses et des aqueducs, qu'il est si important de rendre imperméables; des murs de quais, dont on est contraint d'augmenter l'épaisseur en raison du peu de cohésion des mortiers dans les premières années; des chapes, des réservoirs, et en général de tous les ouvrages sous l'eau, ou destinés à en contenir. L'on peut même prévoir que d'ici à quelques années il ne sera plus permis d'employer d'autre mortier dans les constructions publiques.

« Il y aura sans doute de la diversité dans les opinions, sur quelques parties du Mémoire de M. Vicat; mais on ne pourra manquer de reconnaître unanimement, que cet ouvrage renferme une foule de faits si précieux, qu'il est à desirer, dans l'intérêt de l'art, je dirai même dans celui du corps des Ponts et Chaussées, qu'il soit rendu public, et puisse se trouver entre les mains de tous les ingénieurs.

« Il convient donc d'inviter l'auteur à le faire imprimer, et de lui accorder les encouragements nécessaires pour faciliter cette entreprise.

« Quant à moi, personnellement, j'userai des faibles moyens qui sont en mon pouvoir pour engager les entrepreneurs qui possèdent des fours,

à essayer en grand les procédés de M. Vicat; heureux si je puis contribuer par mes efforts à en propager l'usage. »

Paris, le 23 janvier 1818.

Signé, BRUYÈRE.

AVIS DU CONSEIL.

« Le Conseil général des Ponts et Chaussées, appréciant tout le mérite et toute l'importance du travail de M. Vicat, adopte entièrement l'avis du rapporteur, et se joint sur-tout à M. Bruyère, pour prier M. le Directeur général de faciliter à M. Vicat les moyens de livrer son ouvrage à l'impression, et pour assurer le prompt et économique emploi des procédés de cet ingénieur dans les travaux de maçonnerie. Il émet le vœu que l'administration adresse, à ses frais, un exemplaire de l'ouvrage à chaque ingénieur en activité de service. »

Paris, le 24 janvier 1818.

Signés, TARBÉ, GAYANT, DRAPPIER, LEPÈRE, DE PRONY, ROUSSIGNÉ, BÉRIGNY.

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES.

« Le secrétaire perpétuel de l'Académie, pour les sciences mathématiques, certifie que ce qui suit est extrait du procès-verbal de la séance du lundi 16 février 1818. »

Extrait du Rapport lu à l'Académie Royale des Sciences, par M. l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées GIRARD, *l'un de ses Membres.*

« M. Vicat, ingénieur des Ponts et Chaussées dans le département du Lot, a présenté à l'Académie un Mémoire intitulé : *Recherches expérimentales sur les Chaux de construction, les Bétons et les Mortiers ordinaires.* Nous avons été chargés de l'examiner et d'en rendre compte, MM. de Prony, Gay-Lussac et moi.

« L'objet de ce travail est de la plus haute importance, puisque la solidité des édifices de toute nature, et particulièremet des constructions hydrauliques, dépend du degré de dureté que peuvent acquérir les mortiers ou ciments employés pour lier entre eux les matériaux de ces édifices. Aussi, depuis long-temps, les architectes et les ingénieurs les plus habiles se sont-ils occupés, avec plus ou moins de soins, de rechercher la meilleure composition de ces mortiers ; ils ont donné des règles pratiques à cet égard ; et ces règles, soumises depuis environ un demi-siècle à l'examen des chimistes et des physiciens, ont reçu des explications diverses, et des modifications que l'expérience et la théorie ont successivement indiquées.

« C'est à-la-fois comme constructeur et comme chimiste que M. Vicat a entrepris de traiter cette matière. La position dans laquelle il se trouve, en lui faisant sentir de quelle utilité pouvaient être les recherches qu'il entreprenait, lui a permis de donner à son travail un grand développement. Les nombreuses expériences dont il se compose, et les vues nouvelles qu'il présente, ne pouvaient manquer d'exciter l'intérêt de vos commissaires : mais avant d'en rendre compte, et pour mettre l'Académie à portée d'apprécier par là le mérite de ses recherches, il convient d'exposer, le plus succinctement possible, les travaux de ceux qui l'ont

précédé, et de fixer l'état de la question au moment où il a été conduit à s'en occuper.

(Ici commence l'exposé des essais en ce genre, qui ont été faits depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, avec des considérations sur le mortier des pyramides d'Égypte et de quelques autres monuments de la haute antiquité.)

« Nous terminerons ici la tâche que nous nous étions imposée, de rappeler à l'Académie les travaux de tous ceux qui, sous un point de vue quelconque, se sont occupés du même objet que celui du Mémoire dont il nous reste à rendre compte. En résumant ce que nous avons dit, on voit que toutes les recherches faites jusqu'à présent sur les mortiers hydrauliques, portent ou sur l'espèce de chaux que l'on doit employer dans leur fabrication et la manière d'y suppleer, ou sur la substitution de quelques matières indigènes aux pouzzolanes étrangères, ou bien enfin sur les causes de l'endurcissement plus ou moins rapide de ces préparations, soit à l'air libre, soit pendant leur immersion sous les eaux.

« M. Vicat s'est proposé de résoudre ces diverses questions; l'Académie va juger jusqu'à quel point il s'est approché du but qu'il s'était proposé d'atteindre.

(Ici se trouve l'analyse méthodique de l'ouvrage: elle est terminée par les remarques et les conclusions suivantes.)

« En achevant ce rapport, nous ajouterons que M. Vicat a profité du séjour qu'il vient de faire à Paris, pour répéter, sur les matières qu'on y emploie, des expériences analogues à celles qu'il a faites dans le département du Lot. Ces expériences, dont les produits sont sous les yeux de l'Académie, ont prouvé qu'on peut former ici de toutes pièces, d'après ses procédés, des chaux hydrauliques qui l'emportent en qualité, pour les compositions des bétons, sur les *chaux maigres naturelles* de Metz et de Senonches, les meilleures que l'on y connaisse et qu'on ait pu leur comparer.

« L'importance du Mémoire de M. Vicat, nous fait espérer que le compte qui vient d'en être rendu ne paraîtra pas s'étendre au-delà des bornes que nous devions nous prescrire. Cet ouvrage a fixé l'attention de vos commissaires, et par les faits nouveaux qu'il contient, et par la méthode et la clarté avec laquelle ils sont exposés. Les explications qui en sont données s'appuient sur les saines théories, et prouvent que l'auteur, quoique résidant dans un département éloigné de la capitale, s'est tenu constamment au courant du progrès des sciences, dont il se montre très capable de faire d'utiles applications. . . . .

« Les ingénieurs placés dans des circonstances semblables, sur les différents points du royaume, lui devront de la reconnaissance, et pour les résultats du travail qu'il leur offre, et pour l'exemple qu'il leur donne. Nous pensons que, sous tous les rapports, son ouvrage mérite d'être approuvé par l'Académie, et d'être inséré dans le Recueil des savants étrangers.

« Fait à l'Académie Royale des Sciences, le 16 février 1818. »

Signés, DE PRONY, GAY-LUSLAC, GIRARD, *Rapporteur*.

« L'Académie approuve le rapport, et en adopte les conclusions.

« Certifié conforme à l'original,

Le Secrétaire perpétuel, Chevalier des Ordres royaux de Saint-Michel et de la Légion d'honneur.

Signé, DELAMBRE.

Confiant dans ces approbations, je puis espérer de n'avoir pas longuement étudié, sans quelques fruits, un sujet sur lequel

tant d'autres s'exercèrent avant moi. Plus heureux que mes devanciers, dont le zèle ne pouvait anticiper sur les progrès des sciences, j'ai profité de toutes les lumières que la chimie moderne a jetées sur des phénomènes autrefois inexplicables; ma reconnaissance doit donc naturellement se reporter vers ceux dont les savantes recherches ont été la source de ces bienfaits.

Il est une dette à laquelle je n'oserais espérer de satisfaire, si je ne savais déja que le zèle et le dévouement sont des titres à l'honorable bienveillance du digne chef de l'Administration des Ponts et Chaussées, M. LE CONSEILLER D'ÉTAT BECQUEY. A mon égard, ses encouragements ont comme devancé mes services; ils doublent en quelque sorte mes obligations : j'espère n'oublier jamais ni les unes ni les autres.

RECHERCHES
EXPÉRIMENTALES
SUR LES BÉTONS
ET LES MORTIERS ORDINAIRES.

SECTION PREMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

Des différentes espèces de Chaux de construction.

On a distingué jusqu'à présent les diverses chaux de construction, en espèces grasses et en espèces maigres (1); il s'en trouve effectivement dont le volume, mesuré en poudre vive, se triple par l'extinction ordinaire, et d'autres qui ne rendent qu'un et un cinquième; mais, comme entre ces extrêmes se placent une foule de chaux moyennes qui donnent tantôt deux, trantôt plus de deux et moins de trois pour

(1) M. Faujas de Saint-Fond (Recherches sur les pouzzolanes, la chaux et les mortiers) donne le nom de chaux vive à celle qu'on a nommée jusqu'à ce jour chaux maigre. Cette dénomination est tout-à-fait impropre, car on ne doit entendre par chaux vive que celle qui n'a point encore été éteinte, quelle que soit d'ailleurs sa nature.

un, on conçoit la difficulté de tracer une ligne de démarcation entre les chaux grasses et les chaux maigres.

Cette dénomination de chaux maigre a été ensuite appliquée exclusivement à toutes celles qui ont la propriété de prendre corps sous l'eau; cependant il en existe de maigres qui font exception. Pour faire disparaître ce qu'il y a de vague ou d'inexact dans ces distinctions, nous appellerons, 1° chaux hydrauliques, celles qui, cuites au degré ordinaire, durcissent en peu de temps sous l'eau sans le secours d'aucun ingrédient étranger; 2° chaux communes, celles qui ne jouissent pas de cette propriété; 3° nous dirons d'une chaux qu'elle est grasse, quand, placée vive sous un grand volume d'eau, elle en absorbe pour se fondre de 2,60 à 3,60 pour 1,00 (ces nombres expriment des poids); qu'elle est moyenne, quand, dans les mêmes circonstances, elle en absorbe de 2,30 à 2,60; et maigre enfin, quand elle n'en peut prendre que de 1,00 à 2,30. 4° Nous achèverons de caractériser chaque espèce par sa couleur, qui est assez souvent un indice remarquable.

Les chaux hydrauliques (tableau n° 1) sont quelquefois blanches ou très peu colorées (exemple, chaux de Montélimart, de Nimes et de Viviers), mais elles affectent le plus souvent une teinte gris de boue ou de brique crue (exemple, chaux de Cabessut à Cahors, de Saint-Céré, département du Lot, de la Bourgade, près de Montauban), et sont ordinairement maigres, rarement moyennes, et jamais grasses. L'inverse n'a pas lieu, c'est-à-dire, que la couleur et la qualité maigre ne sont pas les caractères exclusifs des chaux hydrauliques (exemple, chaux tirée de la pierre de Calviac, département de la Dordogne).

Ces espèces de chaux, réduites en bouillie liquide par l'extinction, et immergées ensuite, rejettent, en se solidifiant, une partie de l'eau qu'elles contenaient; elles en prennent, au contraire, une nouvelle quantité, si, au lieu d'une bouillie liquide, on a formé une pâte ferme. Il existe donc, entre ces extrêmes, un degré moyen de consistance pâteuse pour lequel aucun des deux cas n'arrive. Ainsi, les principes qui constituent les chaux hydrauliques tendent à s'unir chimiquement par l'intermède d'une quantité déterminée d'eau qui passe en même

temps à l'état solide. On peut donc considérer ces espèces de chaux comme capables de solidifier en peu de temps toute l'eau dont elles s'abreuvent, pour se réduire en pâte ni trop dure ni trop molle par l'extinction; elles n'ont par conséquent pas besoin, pour durcir, du contact de l'air, et de la dessication qui en est la suite.

Les chaux communes saisissent, dans les mêmes circonstances, beaucoup plus d'eau qu'elles n'en peuvent solidifier; et comme elles n'ont point la faculté de rejeter celle qui est superflue, elles restent constamment à l'état de pâte molle, non seulement dans l'eau, mais encore dans les bassins imperméables où on les éteint lorsqu'on les recouvre de terre ou de sable (1).

Il se rencontre certaines chaux qui participent des chaux communes et des chaux hydrauliques; car, privées du contact de l'air après avoir été réduites en bouillie, elles acquièrent quelque consistance, sans cependant devenir jamais bien dures; elles n'ont, en effet, le pouvoir de faire passer à l'état concret que la plus grande partie de l'eau dont elles se sont chargées; il en reste un léger excès qui ne se combine point.

Les qualités de la chaux changent non seulement d'un canton à l'autre, mais, ce qui paraîtra moins croyable, c'est que ces changements s'observent souvent dans la même carrière; et telle est la variété des espèces calcaires sous ce rapport, qu'on peut facilement en trouver un assez grand nombre pour passer de la chaux commune la plus grasse à la chaux hydraulique la plus maigre, en parcourant toutes les nuances intermédiaires (2).

---

(1) On lit dans l'ouvrage de L. B. Alberti (liv. II, ch. XI) « que l'on trouva dans « une fosse de la chaux éteinte depuis environ 500 ans; que cette chaux était « encore si moite, si bien délayée et si mûre, que le miel ni la moelle des bêtes ne « l'étaient davantage. »

(2) M. Faujas dit que « ces différentes variétés ont été de tous les temps la cause que les personnes qui ont voulu donner des procédés stricts et généraux pour les doses de chaux dans plusieurs ciments imaginés depuis peu, ont presque toujours

Bergman, et après lui Guyton (1) ont attribué à quelques centièmes de manganèse la propriété des chaux hydrauliques; Saussure (2) a pensé, au contraire, qu'elle n'était due qu'à la silice et à l'alumine, combinées dans de certaines proportions; et Descotils (3) a conclu de l'analyse de la pierre de Senonches, que la condition essentielle était la présence d'une grande quantité de matière siliceuse, disséminée en particules très fines dans la substance calcaire. Il paraît, en effet, qu'on ne trouve dans la pierre de Senonches qu'une très petite proportion de magnésie, d'alumine et de fer, tandis qu'elle donne un quart de silice (4). Mais la silice, d'un autre côté, n'entre que pour cinq à six centièmes dans la pierre de Metz, dont les qualités supérieures sont cependant généralement reconnues (5). Il faudrait donc savoir préalablement quel est le degré d'énergie de la chaux de Metz, par rapport à la chaux de Senonches, pour décider avec quelque certitude en quelles proportions la silice doit se trouver mêlée à la substance calcaire (6).

Nous ne pouvons rien affirmer sur l'efficacité de l'alumine; mais

---

échoué »; nous ajouterons que c'est à la même cause qu'il faut attribuer le discrédit de certains procédés de fabrication, dont le succès était dû moins à la manipulation qu'à l'énergie des matières qu'on employait.

(1) Mémoire sur les mortiers et les chaux maigres; Annales de Chimie, tom. 37, pag. 253.

(2) Voyage dans les Alpes.

(3) Journal des Mines, n° 202 (1813), p. 308.

(4) M. Vitalis, chimiste de Rouen, prétend cependant que la pierre de Senonches contient deux fois autant d'alumine que de silice (Mémoires de Gratien Lepère sur les schistes de Cherbourg).

(5) Guyton; Mémoire sur les mortiers et les chaux maigres; déja cité.

(6) Des expériences comparatives, faites à Paris postérieurement à la rédaction de ce Mémoire, ont prouvé que la chaux de Metz est supérieure à la chaux de Senonches; ce qui confirme la justesse de notre observation. Il est très probable, d'ailleurs, qu'il existe d'autres oxides qui partagent avec la silice la faculté de rendre la chaux hydraulique.

nous avons définitivement reconnu, par des essais multipliés, que le fer et le manganèse ne sont point indispensables.

Quelques expériences, dont nous parlerons bientôt, sembleraient, d'un autre côté, annoncer qu'un feu modéré et long-temps soutenu peut donner à des pierres assez pures la propriété de se transformer en chaux hydraulique; mais ce résultat a besoin d'être confirmé par de nouvelles épreuves, qu'il faudra répéter sur plusieurs variétés de substances calcaires. En attendant, on peut concevoir qu'il n'est pas impossible qu'une cause autre que l'influence des oxides dont nous venons de parler puisse déterminer la chaux à durcir dans l'eau.

Sans anticiper sur ce que nous avons à dire dans la suite de ce Mémoire, nous pouvons dès à présent annoncer qu'il est de la plus grande importance, sur-tout lorsqu'il s'agit de travaux publics, de s'assurer de la qualité de la chaux qu'on doit employer : or, l'analyse chimique suppose une habitude et des connaissances que tous les constructeurs ne peuvent pas avoir. Il sera toujours plus facile et plus sûr de soumettre un fragment de la pierre qu'on voudra essayer à la cuisson ordinaire dans un four à chaux, ou, comme nous l'avons pratiqué souvent, à un feu de forge, en employant le charbon de bois (la houille se colle aux pierres et détermine une fritte), d'en former ensuite, par l'extinction ordinaire, une bouillie pâteuse qu'on placera au fond d'un vase, sous une eau pure; et si, au bout de huit ou quinze jours, cette bouillie a pris de la consistance, et résiste à l'impression du doigt, c'est une preuve, *ipso facto*, que la pierre dont il est question peut fournir de la chaux hydraulique. Si la bouillie reste molle, au contraire, c'est le caractère certain d'une chaux commune (1).

Nous insistons sur ces distinctions, parceque les chaux hydrauliques ne sont pas seulement précieuses pour la fabrication des bétons, mais

---

(1) Le moyen que donne M. Faujas, pour reconnaître la qualité de la chaux, est tout-à-fait illusoire. Il conseille de mêler à une mesure de chaux deux mesures de pouzzolane et une demi-mesure de gros sable; de former du tout un mortier qu'on placera dans une caisse, et qu'on laissera ensuite séjourner trois mois sous une eau

parcequ'elles seules peuvent donner, par leur mélange avec le sable ordinaire, d'excellents mortiers pour les constructions exposées à l'air, nonobstant l'opinion de M. Sage, qui voudrait qu'on les proscrivît tout-à-fait pour une raison fort singulière, c'est qu'on ne connaît, dit-il, ni la qualité, ni la quantité des principes qu'elles contiennent. Que les maçons donnent la préférence aux chaux communes, très grasses, parcequ'à égale quantité, elles reçoivent beaucoup plus de sable que les premières, cela se conçoit; mais il est étonnant que la plupart des architectes, et même des chimistes, qui ont fait une étude spéciale des mortiers, n'aient considéré les chaux hydrauliques que par rapport à la faculté qu'elles ont de durcir dans l'eau. M. Rondelet les distingue à peine des chaux communes, et donne à entendre que la différence du foisonnement est la seule chose à laquelle on doive avoir égard, en disant que trois parties de sable contre une partie et demie de chaux *grasse* (qui absorbe deux fois et demie son poids d'eau) forment un mortier égal à celui qu'on obtiendrait en mêlant à deux parties de chaux *maigre* (qui absorbe un poids d'eau égal au sien) la même quantité de sable (1). Nous verrons plus tard combien cette assertion est peu fondée.

Guyton a indiqué deux moyens d'obtenir des chaux hydrauliques artificielles; le premier consiste à mêler quatre parties d'argile grise et six d'oxide noir de manganèse à quatre-vingt-dix parties de pierre à chaux réduite en poudre, et de calciner ensuite le mélange.

Le second est d'ajouter à la chaux vive ordinaire une certaine quantité de mine de fer blanche, qui se compose en grande partie de carbonate de chaux manganésiée.

Le dernier moyen serait d'un usage bien limité; le premier n'est pas

---

pure; et si, après ce terme, le mortier a formé un corps dur, ce sera une preuve que la chaux se trouve bonne. Je ne crois pas qu'il existe une assez mauvaise chaux au monde pour résister à pareille épreuve : on ne peut s'assurer de l'énergie de la chaux qu'en l'employant seule, ou au plus avec le sable ordinaire.

(1) Rondelet, Traité théorique et pratique de l'art de bâtir, tome 1er.

praticable, car on se figure sans peine combien il deviendrait coûteux de pulvériser la pierre à chaux, sur-tout dans les pays où elle est très dure; d'ailleurs, quelle énorme quantité d'oxide de manganèse ne faudrait-il pas? L'observation de Saussure nous a conduits à faire l'essai de substances principalement composées de silice et d'alumine. Nous avons cherché à les combiner avec la chaux par un moyen différent de celui qu'indique Guyton; le succès a surpassé nos espérances. L'opération que nous allons décrire est une véritable synthèse qui réunit d'une manière intime, par l'action du feu, les principes essentiels que l'analyse sépare dans les chaux hydrauliques. Elle consiste à laisser se réduire spontanément en poudre fine, dans un endroit sec et couvert, la chaux que l'on veut modifier (1); à la pétrir ensuite, à l'aide d'un peu d'eau, avec une certaine quantité d'argile grise ou brune, ou simplement avec de la terre à brique, et à tirer de cette pâte des boules qu'on laisse sécher, pour les faire cuire ensuite au degré convenable.

On conçoit déja qu'étant maître des proportions, on l'est également de donner à la chaux factice le degré d'énergie que l'on desire, et d'égaler ou de surpasser à volonté les meilleures chaux naturelles (2).

Les chaux communes très grasses peuvent comporter 0,20 d'argile pour 1,00; les chaux moyennes en ont assez de 0,15; 0,10, et même 0,06 suffisent pour celles qui ont déja quelques qualités hydrauliques (3). Lorsqu'on force la dose jusqu'à 0,33 ou 0,40, la chaux que l'on obtient ne fuse point; mais elle se pulvérise facilement, et donne, lorsqu'on la détrempe, une pâte qui prend corps sous l'eau très promptement. Quand les terres argileuses que l'on rencontre sont

(1) L'extinction spontanée de la chaux n'est pas indispensable; mais c'est le moyen de réduction le plus économique.

(2) Nous sommes parvenus à composer à Paris, avec les chaux de Champigny et de Clayes, et de l'argile de Vanvres, une chaux hydraulique factice, qui est de beaucoup supérieure à la chaux de Metz.

(3) Les qualités de l'argile doivent d'ailleurs influer sur les proportions.

mêlées de graviers ou de débris calcaires, on les jette dans un grand bassin plein d'eau; on les y délaye, en les agitant avec un rabot; on fait couler la bouillie qui surnage dans un second bassin, où elle sert à former, avec la chaux en poudre, les boules en question. On parvient assez facilement, avec un peu d'habitude, à doser exactement les mélanges, quoique la terre soit ainsi détrempée: la manipulation se fait d'ailleurs mieux et plus vite que de toute autre manière.

Il ne faut pas croire que l'argile cuite à part, et ajoutée à la chaux commune dans les proportions que nous venons d'indiquer, puisse donner les mêmes résultats que lorsque ces deux substances sont mêlées avant la cuisson. Le feu modifie les uns par les autres les principes qui constituent le mélange, et donne naissance à un nouveau composé qui jouit de nouvelles propriétés. Cette vérité devient palpable, lorsqu'on compare, par exemple, la couleur de la chaux factice (à argile ferrugineuse), qui tire sur le vert pâle un peu jaunâtre, à celle que contracte la chaux commune, broyée avec un peu de ciment rouge. Du reste, il y a une très grande différence dans la manière dont ces composés se comportent sous l'eau (1).

Pour ne laisser aucun doute sur la possibilité de transformer (en grand) la chaux commune en chaux hydraulique, nous allons présen-

---

(1) Smeaton propose aux chimistes (Recherches expérimentales sur la meilleure composition des ciments hydrauliques, extraites de la Bibliothèque britannique, t. 1er, p. 89 et 611) de décider « pourquoi la présence de l'argile, dans le tissu de « la pierre calcaire, rend la chaux propre à se durcir sous l'eau; propriété que la « chaux tirée des pierres calcaires pures n'acquiert point. » Il ajoute que « l'argile « mêlée à la chaux *ordinaire ne produit pas cet effet; la brique pilée en poudre fine « ou grossière n'y fait rien non plus....* etc. »

On voit que Smeaton n'a essayé que le mélange de la chaux éteinte et de l'argile crue; s'il avait eu l'idée de faire cuire le mélange, il aurait obtenu de la chaux hydraulique. Quant à l'argile cuite, ou ciment, son effet sur les chaux communes grasses est bien constaté; on sait que s'il ne leur communique pas la propriété de former des bétons excessivement durs, il leur donne néanmoins assez de consistance pour résister avec avantage sous l'eau dans beaucoup d'occasions.

ter ici un détail très approximatif de ce que coûterait un mètre cube de cette chaux dans le pays que nous habitons (Souillac, département du Lot).

Un four à bois ordinaire, de forme carrée, contient 59 mètres cubes de matériaux; en plaçant 17 mètres cubes de pierre à chaux naturelle pour former la voûte, et 42 mètres cubes de boules ou prismes à chaux factice par-dessus, on peut faire plusieurs fournées consécutives; et la chaux naturelle de chaque fournée donnera la chaux factice de la suivante, en adoptant les proportions de 1,00 de chaux en poudre éteinte à l'air, contre 0,20 de terre argileuse, mesurée aussi en poudre. (Il est bon de faire observer que 1,00 en volume de chaux en poudre vive rend 3,52 en poudre éteinte, dans le cas qui nous occupe.) Une fournée coûtera, savoir :

Fourniture de 17 mètres cubes de pierre ordinaire, à chaux commune très grasse, à 2 francs.	34 fr.	00 c.
Idem, de 8 mètres 40 cent. de terre à brique, supposée assez pure pour n'avoir pas besoin d'être lavée, à 3 francs	25	20
Façon de 42 mètres de boules, ou briques de chaux factice, à 12 fr. le mètre.	504	00
Fourniture de 50 stères de bois de chêne, à 10 fr. l'un.	500	00
Charge et décharge du four, entretien du feu, 22 journées de maître chaufournier (le temps de la cuisson comptant double), à 3 fr.	66	00
Pour *idem*, 68 journées de manœuvre, à 2 fr. . . .	136	00
Prix d'une fournée.	1265	20

Pour obtenir dix fournées consécutives pareilles à celle dont nous venons d'évaluer la dépense, il faudrait en faire onze; la première, que nous ne comptons pas, donnerait de la brique, et la chaux nécessaire à la préparation de la seconde fournée : les dix fournées fourniraient donc 420 mètres cubes de chaux hydraulique, et coûteraient

12,652 francs; donc le mètre cube de cette chaux reviendrait, prix coûtant, à 30 francs 12 centimes, et à 35 francs, à très peu près, y compris bénéfice et frais d'établissements.

Il est bon de faire observer que la chaux factice ainsi obtenue, se comportant comme les chaux hydrauliques naturelles, ne foisonnerait que très peu par l'extinction. Un mètre cube n'équivaudrait guère, sous ce rapport, qu'à 0^{m},60 de chaux naturelle du pays.

En voilà assez pour démontrer que la fabrication des chaux hydrauliques, telle que nous la concevons, n'a rien de difficile ni d'impraticable en grand. Ce serait d'ailleurs une chose à examiner dans les pays à pierres tendres et crayeuses, s'il ne conviendrait pas de substituer à la première cuisson une pulvérisation mécanique; mais il est fort douteux que le succès fût le même, parcequ'il deviendrait très difficile d'obtenir, par une trituration grossière, la seule praticable en pareil cas, une division aussi parfaite que celle que donne l'extinction spontanée de la chaux.

CHAPITRE II.

Des Pierres à Chaux.

La plupart des traités de l'art de bâtir ne donnent sur les pierres à chaux que des notions inexactes, et quelquefois entièrement fausses, comme nous allons le faire voir.

Vitruve a dit (1) le premier, *tunc etiam de calce diligentia est adhibenda, uti de albo saxo aut silice coquatur; et quæ erit de spisso et duriore, erit utilior in stuctura; quæ autem ex fistuloso, in tectoriis.* Il distingue ainsi deux espéces de pierres, dont les unes, blanches et

(1) Vitruve, liv. II, chap. v.

dures, fournissent de la chaux propre à la maçonnerie, et les autres, poreuses, en donnent de bonne pour les enduits.

Belidor répète, d'après Vitruve, que « pour faire de bonne chaux, « il faut se servir de pierres très dures, pesantes et blanches, et que de « toutes celles qu'on peut employer, il n'y en a point de meilleure que « le marbre. »

M. Faujas de Saint-Fond (1) distingue deux espèces de chaux; la *chaux vive* et la *chaux grasse.* « La première provient, dit-il, d'une « pierre calcaire *pure,* saine et cristalline dans sa cassure, et qui tend « à se rapprocher du spath calcaire. La chaux grasse ou commune se « fait avec des pierres tendres, souvent un peu marneuses. »

M. Sage affirme que « la bonne qualité de la chaux dépend en « partie de la pureté de la pierre qu'on calcine, et que la chaux qu'on « obtient du marbre est préférable à celle de la pierre commune. »

M. Rondelet dit encore que « les pierres calcaires les plus dures, les « plus pesantes, celles dont le grain est fin, homogène, et dont la « contexture est la plus compacte, font la meilleure chaux. »

L'ingénieur anglais Smeaton et le docteur Higgins prétendent au contraire que la craie et le marbre, qui offrent à-peu-près les deux extrêmes en dureté parmi les espèces calcaires, donnent de la chaux qui procure au mortier une égale bonté. Smeaton a fait ses expériences sur des mortiers de traass, et le docteur Higgins sur des mortiers ordinaires.

La plupart de ces opinions ne paraissent contradictoires que parcequ'elles sont présentées sans restriction; quelques unes sont entièrement opposées aux faits les plus incontestables. Il est certain que ni la couleur, ni la contexture, ni la dureté, ni la pesanteur spécifique, ne sont des indices suffisants de la qualité des pierres à chaux (2). Pour le

(1) Ouvrage cité.

(2) Smeaton a dit (ouvrage cité) que « la texture, la couleur, la dureté des pierres « calcaires ne sont point des indices constants de leur qualité comme pierres à « chaux maigres (hydrauliques); que l'analyse même qui montre dans leur com-

prouver, nous avons comparé, dans le tableau n° 1, les principaux caractères de quelques pierres, dont plusieurs sont connues par une longue expérience. Elles fournissent, savoir :

N° 1, 2, 2 *bis*, 3 et 4, d'excellentes chaux.

N° 5, 6, 7, 8 et 9, de bonnes chaux.

N° 10 et 11, de médiocres chaux.

N° 12, 13, 14 et 15, de mauvaises chaux.

Ces exemples, qu'il serait facile de multiplier, prouvent, comme nous venons de le dire, qu'il est impossible de rien conclure des caractères physiques des pierres, relativement à la qualité de la chaux qu'on en retire.

Passons à ce qu'on nomme *pureté de la pierre*. M. Rondelet est tombé à ce sujet en contradiction évidente avec lui-même; car, après avoir dit que « dans presque toute l'Italie la chaux est fort bonne, par- « ceque la pierre qu'on y emploie est presque toujours un marbre très « pur », il cite comme excellente la chaux de Cretage, qui contient, ajoute-t-il, beaucoup de fer et de manganèse, et celle de Metz, où Guyton a trouvé sur 100 parties 5,25 de silice, 1,25 d'alumine, 3,50 de manganèse, et 3,20 de fer.

Ajoutons à cela que les pierres à chaux les plus renommées, telles

---

« position de la glaise et du sable, quoiqu'elle soit un fort préjugé en leur faveur, « n'est pas toujours un indice certain; mais que ce dernier caractère, joint à la « couleur fauve de la chaux, annonce toujours la véritable chaux maigre. Qu'ainsi, « soit que la pierre soit bleue, blanche ou brune; qu'elle soit dure ou tendre, si « elle prend à la calcination cette couleur bien décidée, elle est bonne pour les « constructions hydrauliques. »

Une foule de pierres à chaux, parmi lesquelles nous pouvons citer celles de Nîmes, de Montélimart et de Viviers, ne prennent point une couleur fauve à la cuisson, et fournissent cependant de bonnes chaux hydrauliques. La pierre de Calviac (n° 15), qui est dans le cas de celles dont parle Smeaton, donne au contraire une chaux commune. Puisqu'il est si difficile d'établir des règles générales sans les soumettre à une foule d'exceptions, n'est-il pas plus convenable de n'en pas établir du tout?

que celles de Léna, d'Aberthaw, dans le comté de Glamorghan; de Casal (Piémont), de Morex (pays de Gex), de Brion (Saône-et-Loire), de Cahors et de Saint-Céré (Lot), de Labourgade (Lot-et-Garonne), de Montélimart (Drôme), etc. etc., laissent toutes, après leur solution dans un acide, un résidu boueux, d'une couleur olivâtre, plus ou moins foncée, lequel est évidemment dû à des principes qui ne sont point calcaires.

Ces faits, on doit l'avouer, n'établissent point que la bonté de la chaux dépende de la pureté de la pierre. Nous pouvons affirmer, d'ailleurs, qu'avec tous les soins possibles, en essayant plusieurs procédés de fabrication, nous n'avons jamais pu faire de bon mortier avec certaines chaux blanches, extraites de pierres blanches et dures qui se rapprochaient beaucoup du marbre très pur. Nous n'entendons parler ici que du mortier ordinaire à sable quartzeux.

CHAPITRE III.

Nature de la Chaux; action du feu sur la pierre calcaire.

Il n'y a pas long-temps que la nature intime de la chaux est connue; le chimiste Davy a le premier indiqué, en 1807, que le sulfate et le carbonate de chaux, soumis à l'action de la pile de Volta, cédaient leur acide et de l'oxigène au pôle positif, et au pôle négatif une substance brillante qui a tant d'affinité pour ce dernier principe, qu'elle l'enlève à l'air, et décompose l'eau très rapidement. L'analogie a fait placer cette singulière substance au rang des métaux, sous le nom de calcium (1). La chaux pure n'est donc qu'un oxide métallique, et la chaux de construction qu'une combinaison d'oxides du même genre; car la silice et

(1) Voyez les Éléments de Chimie de M. Thénard.

l'alumine sont déja rangées, par analogie, au rang des oxides, et les métaux qu'on suppose en être les bases, ont reçu les noms de silicium et d'aluminium.

L'oxide de calcium, ou la chaux pure qu'on retire du marbre dans les laboratoires, ne fait point effervescence avec les acides, parceque la calcination est toujours portée assez loin pour enlever au sel calcaire tout l'acide carbonique qu'il contenait. La chaux qui sort de nos fours ordinaires n'en est au contraire jamais entièrement privée.

La calcination ne se borne point, comme on l'a dit dans plusieurs ouvrages, à chasser de la pierre, l'eau de cristallisation et une partie de l'acide carbonique; elle modifie encore, les uns par les autres, les oxides constituants. Nous n'entreprendons point d'expliquer ce qui se passe; nons nous contenterons de prouver la réalité de ces réactions par les faits suivants : Si l'on prend, d'une part, du carbonate de chaux impur (de la pierre de Montélimart ou de Labourgade, par exemple), de l'autre, la chaux même qui en provient, soit vive, soit à l'état d'hydrate; qu'on dissolve séparément ces substances dans de l'acide nitrique affaibli, le carbonate laissera un résidu éminemment siliceux et d'une couleur foncée, tandis que la chaux et son hydrate se dissoudront presque entièrement, ou ne laisseront qu'un très faible résidu sans couleur. Si l'on fait la même expérience sur la pierre de Calviac, qui contient presque moitié de son poids de silice en grains palpables, on obtient d'abord un précipité de sable jaune, plus un précipité flocon-neux jaune orange, et la solution est colorée; après la cuisson, on obtient encore un précipité de silice, mais à l'état de sable très blanc, et la liqueur est sans couleur. Ainsi, le défaut de ténuité dans la silice la préserve, jusqu'à un certain point, de l'altération qu'elle éprouve lorsqu'elle est en particules impalpables. Si donc les qualités des chaux hydrauliques résultent de cette altération, il est démontré qu'il doit exister des chaux maigres non hydrauliques.

Descotils a observé une partie de ces phénomènes sur la pierre et la chaux de Senonches; mais il n'a point fait mention du changement de couleur des solutions et des précipités : sans doute que la très petite

quantité de fer contenue dans cette pierre l'aura empêché d'y faire attention (1).

La pierre calcaire change plusieurs fois de couleur pendant la cuisson ; le feu développe intérieurement une teinte foncée, tantôt noire, tantôt grise, bleuâtre ou verdâtre, à laquelle succède le blanc ou le fauve, qui sont les couleurs ordinaires de la chaux cuite à ce degré, qu'on nomme le degré convenable, dans les arts. L'épreuve qui le détermine est l'extinction : la chaux doit, pour être bien cuite, fuser promptement et complétement dans l'eau. Lorsqu'on outre-passe le terme ordinaire de la calcination, elle devient paresseuse, c'est-à-dire, qu'elle acquiert la propriété de rester plusieurs heures, et quelquefois un jour ou deux dans l'eau sans s'éteindre.

Si l'on place, *stratum super stratum*, avec du charbon de bois et de la houille mêlés, des fragments de pierre à chaux commune, grasse, dans un petit fourneau de brique, qu'on y mette le feu, et qu'à mesure que les matières s'affaissent par la réduction du combustible, et laissent tomber la chaux dans le cendrier, on retire cette chaux pour en recharger le four avec de nouveau charbon, on obtiendra, en continuant ainsi pendant quinze ou vingt heures, selon le volume des fragments, une chaux sur-calcinée qui ne s'éteindra plus, mais qui jouira d'une propriété fort remarquable ; car si on la réduit en poudre très fine par la trituration, qu'on en fasse, en l'arrosant, une pâte ductile, cette pâte durcira sous l'eau (2).

Nous avons ouï parler d'expériences faites à l'école des mines de

---

(1) Nous avons commencé nos expériences en 1812 ; ce n'est qu'en 1817 que nous avons eu connaissance du travail de Descotils par la notice de M. Gay-Lussac, insérée dans le numéro des Annales de Physique et de Chimie du mois de février 1817.

(2) M. Sage (Élémens de Minéralogie, page 119, tome 1er) dit « qu'ayant tenu « au rouge pendant cinq jours de la chaux vive faite avec du spath calcaire, cette « chaux ne s'échauffait plus avec l'eau, et ne prenait plus corps avec le sable ; » mais il ne paraît pas avoir remarqué le fait dont il est ici question.

Nous avons retiré de l'eau, après dix-huit mois d'immersion, de petites pièces

Moutiers, et desquelles il paraît résulter que le degré de cuisson peut modifier toute espèce de pierre calcaire, de manière à la transformer en chaux hydraulique; nous regrettons de ne point en connaître les détails; il eût été intéressant pour nous de savoir quels rapports elles ont avec le fait que nous venons d'exposer.

L'énorme quantité de combustible qu'exige la sur-calcination de la chaux, jointe à l'inconvénient de la piler et de l'employer seule, à la manière du plâtre, en rendrait l'usage trop dispendieux dans les constructions. Il faut, au reste, de nouveaux essais pour constater définitivement le résultat que nous annonçons. Il serait possible que la nature de la houille dont nous nous sommes servis eût exercé quelque influence dont nous ne saurions rendre compte.

CHAPITRE IV.

Des trois manières d'éteindre la Chaux, et des phénomènes qui en résultent.

PREMIER PROCÉDÉ.

La chaux vive, prise en sortant du four et jetée sous une quantité d'eau convenable, se fend avec bruit, se boursouffle, produit un dégagement considérable de vapeurs brûlantes, légèrement caustiques (2),

---

de chaux commune réduite en pâte après sa sur-calcination; nous les avons laissées sécher pendant quelques mois à l'air; en les rompant ensuite avec la main, sans autre intention que d'en essayer la résistance, nous avons remarqué avec surprise, dans la cassure, une certaine quantité de particules de carbonate de chaux à l'état de cristaux transparents.

(2) La vapeur qui s'élève pendant l'extinction de la chaux verdit le papier teint avec la mauve; ce qui provient d'une portion de chaux très divisée que cette vapeur entraîne avec elle.

et se fond en bouillie épaisse. En cet état, on la nomme indifféremment *chaux fondue*, *chaux coulée*.

Ce procédé d'extinction est généralement usité; mais les maçons en abusent; ils noient la chaux dans une grande quantité d'eau, la réduisent à consistance laiteuse, et la versent après dans des fosses perméables, où elle se dessèche et perd ses qualités.

Les chaux communes très grasses, éteintes en bouillie épaisse, donnent en volume jusqu'à trois et un dixième pour un; il est des chaux hydrauliques qui ne rendent qu'un et un cinquième.

Pour comparer rigoureusement entre elles, sous le rapport de *gras* ou de *maigre*, les diverses espèces de chaux dont nous nous sommes servis, nous avons placé de chacune un fragment récemment cuit, sous un volume d'eau plus que suffisant pour l'éteindre, et nous l'avons laissé se fondre et saturer librement. Le poids de l'eau absorbée a donné le terme de comparaison cherché (1). C'est ainsi qu'ont été calculés les nombres de la dernière colonne du tableau n° 1, dans laquelle on remarquera la chaux n° 15, une des plus maigres, et qui n'est cependant pas hydraulique. Cette exception, fût-elle unique, fera sentir la nécessité des distinctions que nous avons établies entre les chaux maigres et les chaux hydrauliques (2).

M. Sage dit (3) que si l'on jette de nouvelle eau sur la chaux, lorsqu'après en avoir déja absorbé elle éclate en sifflant, il se produit un

(1) Dans cette opération, il ne se manifeste presque pas d'effervescence, parceque l'eau se trouve en excès. Après que la chaux s'est réduite en flocons, on décante avec précaution l'eau surabondante, on pèse la bouillie, on retranche de ce poids le poids de la chaux vive, et on obtient ce que nous appelons ici la quantité d'eau absorbée.

(2) L'ordre du tableau n'indique pas exactement l'ordre d'énergie des diverses chaux; mais il n'en diffère pas beaucoup. On conçoit que, puisqu'il peut exister des chaux maigres non hydrauliques, le degré de maigre cesse d'être un indice exact des qualités de la chaux.

(3) Expériences de M. Sage, publiées en 1809.

bruit semblable à celui d'un fer rouge que l'on trempe. Le fait est exact; mais ce chimiste paraît ne pas en avoir observé les conséquences, qui sont cependant importantes, et connues des maçons. Les parties chaudes, non fusées et atteintes par l'eau projetée, se divisent mal, et la bouillie reste grenue: plus l'eau est froide, plus l'effet est sensible, sur-tout sur les chaux très grasses. Quand on veut obtenir une chaux fondue parfaite, il faut donner du premier coup assez d'eau pour n'être pas obligé d'y revenir au moment de l'effervescence, ou bien attendre le refroidissement pour en ajouter une nouvelle quantité.

La chaux devient paresseuse (c'est-à-dire, qu'elle acquiert la faculté de rester quelque temps sous l'eau sans s'éteindre) quand elle a été exposée quelques jours à l'air. Ce fait est sur-tout remarquable dans les chaux hydrauliques, qui finissent par se résoudre dans l'eau sans produire autre chose qu'un léger dégagement de chaleur.

DEUXIÈME PROCÉDÉ.

La chaux vive, plongée dans l'eau pendant quelques secondes, et retirée avant le commencement de la fusion, siffle, éclate avec bruit, répand des vapeurs brûlantes, et tombe en poudre. On la nomme alors chaux éteinte par immersion. Elle peut se conserver long-temps en cet état, pourvu qu'on la mette à l'abri de l'humidité. Elle ne s'échauffe plus lorsqu'on la détrempe (ce procédé d'extinction est dû à M. de Lafaye, qui l'a publié en 1777, comme un secret retrouvé des Romains). Un kilogramme de chaux commune grasse, éteinte en poudre par immersion, ne retient moyennement que $0^{\text{kil.}}$,18 d'eau, tandis que les chaux hydrauliques en prennent de $0^{\text{kil.}}$,20 à $0^{\text{kil.}}$,35. Ce fait a lieu dans un sens inverse de celui que présente l'extinction ordinaire.

Les chaux communes très grasses se divisent difficilement en poudre bien fine par le procédé Lafaye, si l'on se contente, comme le prescrivent quelques auteurs (1), d'en concasser les pierres à la grosseur

(1) Voyez les Expériences de M. Sage, page 6, note première.

d'un œuf avant l'immersion, et de les laisser fuser ensuite sur une aire. Plus de la moitié tombe alors en petits fragments solides de la grosseur d'un pois; et ces fragments une fois refroidis, peuvent tenir long-temps dans l'eau sans s'y fondre (les mortiers fabriqués avec de telle chaux paraissent toujours mal broyés et sont sujets aux gerçures). Mais on surmonte cette difficulté, en réduisant les pierres de chaux vive à la grosseur d'une noix avant que de les immerger, et en les accumulant immédiatement après dans des caisses ou futailles; alors la chaleur se trouve concentrée; une grande partie de l'eau vaporisée ne pouvant s'échapper, est reprise par la chaux même, qui parvient ainsi à se diviser assez bien (1).

On peut aussi (mais ceci devient pénible et incommode) séparer de la poudre fine avec un crible les fragments non fusés, et leur faire subir sur-le-champ une nouvelle immersion. Dans tous les cas, on n'obtient guère en volume que de 1,50 à 1,70 pour un de chaux vive mesurée en poudre.

Les chaux hydrauliques, qui se divisent très bien de quelque façon que l'on procède, rendent dans les mêmes circonstances de 1,80 à 2,18.

TROISIÈME PROCÉDÉ.

La chaux vive, soumise à l'action lente et continue de l'atmosphère, se réduit en poussière très fine; pendant cette extinction naturelle, il y a un léger dégagement de chaleur, mais sans vapeurs visibles. Les chaux communes grasses augmentent des deux cinquièmes de leur poids, et rendent en volume depuis 1,75 jusqu'à 2,55. Pour obtenir

---

(1) C'est une erreur de croire que la méthode de Lafaye soit incommode et d'une pratique difficile; à dire vrai, il faut des hangards et des encaissements pour recevoir la chaux en poudre; mais les frais d'extinction sont bien moindres qu'on ne l'imagine d'abord. Sur les travaux du pont de Souillac, il n'a fallu, pour éteindre par immersion 128 mètres cubes de chaux vive, que 168 journées de manœuvres; l'eau était tirée d'un puits creusé sur les lieux mêmes, à l'aide d'une forte pompe.

ces résultats, il faut saisir l'époque où la réduction en poudre est complète, et ne point opérer dans une atmosphère humide.

Telles sont les trois manières d'éteindre la chaux : la première est généralement usitée; la seconde n'a guère été employée que par forme d'essai sur divers travaux; la troisième est proscrite, et représentée dans tous les traités de construction comme privant la chaux de toute énergie, tellement, qu'on regarde comme perdue celle que l'air a éventée au point de la réduire tout-à-fait en poussière. Nous ne parlerons pas dans ce moment des procédés de MM. Rondelet, Fleuret et autres, parcequ'ils ne diffèrent pas assez de ceux que nous venons de décrire pour en être séparés. Nous verrons plus tard, relativement à l'extinction spontanée, combien il faut se défier de ces assertions banales, nées de fausses observations, et accréditées par des auteurs qui, ne sachant douter de rien, répètent sans examen les erreurs d'autrui.

Nous allons comparer actuellement ces trois manières, en prenant pour exemple une chaux commune grasse et deux chaux hydrauliques maigres. Cette comparaison nous conduira à quelques observations importantes.

		Poids de l'eau absorbée.	Volume en pâte.
Les pâtes ont toutes la même consistance.	1kil.,00 de chaux commune grasse, n° 13, réduite en pâte par le premier procédé.	kil. 2,36	3,10
	Idem, éteinte d'abord par immersion, et réduite en pâte.	1,31	1,04
	Idem, éteinte d'abord à l'air, et réduite en pâte. .	1,48	1,76
	1kil.,00 de chaux hydraulique, n° 4, maigre et colorée, réduite en pâte par le premier procédé. .	1,05	1,37
	Idem, éteinte d'abord par immersion, et réduite en pâte.	0,71	1,27
	Idem, éteinte d'abord à l'air, et réduite en pâte. .	0,68	1,00
	1kil.,00 de chaux hydraulique, n° 2 *bis*, maigre et blanche, réduite en pâte par le premier procédé.	1,10	1,30
	Idem, éteinte par immersion, et réduite en pâte. .	0,80	1,17
	Idem, éteinte à l'air, et réduite en pâte.	0,70	1,08

En examinant ces résultats, on aperçoit sur-le-champ un fait bien digne d'attention, savoir, qu'étant donné des quantités égales d'une même chaux, il est possible d'en former à part des pâtes parfaitement égales, non en volume, mais en consistance, en employant néanmoins des doses d'eau très différentes. Ce phénomène dépend évidemment du degré de ténuité que les particules de la chaux contractent par l'extinction. Le foisonnement et l'eau absorbée prouvent incontestablement que le procédé ordinaire est celui des trois qui porte la division au plus haut terme; et, à l'appui de cette preuve, on peut citer comme une chose assez remarquable, qu'à l'exception des chaux très blanches, toutes les autres contractent, par le procédé d'immersion et par l'extinction spontanée, une couleur plus sombre que lorsqu'on les soumet à l'extinction ordinaire. Or on sait qu'une foule de substances cristallines et colorées blanchissent ou acquièrent de l'éclat par la grande division de leurs particules, qui deviennent comme autant de facettes propres à réfléchir la lumière blanche. Les pierres calcaires, vives et grisâtres, le vert de bouteille, sont dans ce cas; le cinabre, qui est de couleur de brique de première cuite, se change par la pulvérisation en vermillon d'un grand éclat, etc. Il ne peut donc rester aucun doute à ce sujet.

Mais si la méthode d'immersion et l'extinction naturelle, outre qu'elles divisent imparfaitement la chaux, ne donnaient pas aux particules pulvérulentes qu'elles déterminent, la faculté de tenir quelque temps dans l'eau sans se développer, les différences que nous venons de remarquer dans le volume des pâtes ne subsisteraient pas; car ces particules se dilateraient en se détrempant, et parviendraient au même degré de ténuité que dans l'extinction ordinaire; or ceci n'a pas lieu, du moins instantanément. Nous reviendrons par la suite sur ce fait, que personne n'avait encore remarqué.

Nous nous bornerons, pour le moment, à en déduire cette conséquence, que pour composer avec de la chaux éteinte par immersion ou par l'action de l'air un mortier en apparence aussi gras et aussi

liant que celui que donne le procédé ordinaire de fabrication, il en faut employer une plus grande quantité.

Les maçons, qui ne connaissent guère ou plutôt ne connaissent pas l'extinction par immersion, disent de la chaux qui fuse à sec, qu'elle se brûle; de là ce précepte répété avec confiance par quelques auteurs, *il ne faut point noyer la chaux*, *il ne faut point la brûler*. La première partie s'entend de reste; mais il est évident que cette expression, *brûler la chaux*, en parlant de l'extinction sèche, est non seulement impropre, mais ne signifie rien; car si on veut dire par là que la chaux s'altère et perd de sa force, on se trompe, comme nous le verrons par la suite.

CHAPITRE V.

Combinaison de l'Eau et de la Chaux. Influence de l'Eau et de l'Air sur les Hydrates qui en résultent.

La chaux pure, éteinte en bouillie, et exposée dans un creuset d'argent ou de platine, à la chaleur de la lampe à esprit-de-vin, donne (voyez le Traité de Chimie de M. Thénard) ce qu'on appelle *hydrate de chaux*. Dans cette opération, la chaux n'augmente pas tout-à-fait du quart de son poids; l'hydrate est blanc, pulvérulent, et attire l'acide carbonique de l'air. Voilà, à très peu près, tout ce que la chimie nous enseigne sur la combinaison de l'eau et de la chaux.

M. Sage, qui paraît avoir fait une étude particulière de la chaux, prétend (1) « qu'éteinte par immersion, elle peut être régénérée en « pierre calcaire par le seul concours de l'eau....... Que cette régénéra- « tion est complète, et présente une espèce de marbre...... Mais que la

(1) Mémoire déja cité.

« solidité de cette pierre artificielle s'augmente considérablement par « l'addition d'une matière siliceuse quelconque, etc. »

Ce prétendu marbre serait donc moins résistant que le mortier ordinaire. Il y a là quelque chose de contradictoire; il est impossible ensuite de concevoir comment la régénération ou la réintégration complète de l'acide carbonique peut s'effectuer par le seul concours de l'eau.

Nous allons exposer les résultats de nos propres expériences sur diverses chaux de construction.

Plusieurs essais préliminaires nous ont prouvé que la quantité d'eau employée à l'extinction, ou, en d'autres termes, que le degré de fermeté de la bouillie exerce une grande influence sur la dureté de l'hydrate qui en résulte.

Exemple sur une Chaux commune.

	Duretés relatives des Hydrates.
	d
1$^{kil.}$,00 de chaux, n° 13, éteinte avec 1$^{kil.}$,37 d'eau (*minimum*).	0,126
1,00 *idem*, éteinte avec 1$^{kil.}$,83 d'eau....................	0,222
1,00 *idem*, éteinte avec 3,15 d'eau (*maximum*)...........	0,068

Exemple sur une Chaux hydraulique.

1$^{kil.}$,00 de chaux n° 8, éteinte avec 0$^{kil.}$,70 d'eau (*minimum*). .	0,014
1,00 *idem*, éteinte avec 0$^{kil.}$,92 d'eau.	0,051
1,00 *idem*, éteinte avec 2,46 d'eau (*maximum*).	0,010

Nous n'avons point assez multiplié les expériences pour déterminer, relativement à chacune des deux chaux, à quelle quantité d'eau correspond le *maximum* de dureté de son hydrate; nous croyons cependant que les doses 1^{k},83 dans le premier exemple, et 0^{k}92 dans le second, ne diffèrent guère des résultats auxquels conduiraient des recherches particulières.

La consistance qui répond à ces quantités d'eau est ferme quoique ductile. On ne peut mieux la comparer qu'à celle de l'argile préparée

pour les poteries. C'est cette consistance que nous avons donnée à la pâte de tous les hydrates qui ont servi à nos expériences. On conçoit que, sans cette attention, nos résultats cessant d'être comparables, n'auraient conduit qu'à des conclusions entièrement fausses. Il ne paraît pas que M. Sage ait remarqué l'influence des proportions relatives de l'eau et de la chaux; du moins il n'en parle pas. Cependant il était facile de s'en rendre compte *à priori;* on sait en effet que trop peu d'eau ne lie pas, et qu'un excès divise, écarte les particules de la matière qu'on détrempe, de sorte que le composé reste léger, poreux et friable, s'il ne prend pendant la dessication un retrait convenable, soit naturellement, soit par la massivation. Le plâtre gâché dur ou liquide offre un exemple frappant de cette vérité.

Nous avons donc formé, selon ce qui vient d'être dit, avec diverses chaux éteintes par les trois procédés connus, des prismes quadrangulaires d'une longueur indéterminée, et ayant pour section un rectangle de $0^m,04$ de base, sur $0^m,025$ de hauteur. Nous les avons exposés pendant plusieurs jours à la chaleur solaire de l'été, et obtenu ainsi des hydrates, recouverts d'une très légère croûte de carbonate de chaux dont il a été facile de les dépouiller; après quoi nous avons essayé leur résistance par la rupture (1), et leur dureté par un foret analogue à celui que Peyronnet a employé pour comparer les duretés des pierres.

Pour opérer la rupture, on plaçait les prismes horizontalement en saillie sur un madrier dressé à dessein, en retenant le mouvement de bascule par une traverse de fer méplat, se mouvant à volonté dans le sens vertical au moyen de deux guides. On accrochait sur chaque prisme, à $0^m,03$ de la rupture, un étrier de fer portant une caisse en bois léger, dans laquelle on versait doucement, et d'une manière continue, un sable très fin, jusqu'à ce que la rupture eût lieu. On pesait

(1) Peut-être aurait-il été plus exact de dire tenacité, au lieu de résistance. Il suffit, au reste, que le lecteur soit prévenu du sens dans lequel nous avons employé ce dernier mot.

ensuite la caisse et le contenu, et on obtenait ainsi en kilogrammes l'expression de la force relative de chaque prisme. Quand, ce qui arrivait quelquefois, les sections de rupture étaient un peu inégales, on faisait les corrections nécessaires au moyen de la formule de Galilée. (Voy. la planche I.)

Ces premières expériences nous ont donné les résultats suivants, qui se déduisent immediatement du tableau n° 2.

Les trois procédés d'extinction, rangés par ordre de supériorité relativement à la résistance et à la dureté qu'ils communiquent aux hydrates de chaux communes grasses, sont :

1° L'extinction ordinaire, 2° l'extinction spontanée, 3° l'extinction par immersion.

Les résistances relatives moyennes, dans ces trois cas, sont comme les nombres 2490, 1707, 450, et les duretés comme $0^d,1696$, $0^d,0850$, $0^d,0713$.

2° L'ordre change pour les chaux hydrauliques, et devient, 1° l'extinction ordinaire, 2° l'extinction par immersion, 3° et l'extinction spontanée.

Les résistances moyennes relatives sont comme les nombres 864, 392, 245, et les duretés comme 0^d0488, 0^d0446, 0^d358,

Nous prévenons, une fois pour toutes, que ces nombres et ceux que nous présenterons par la suite, ne doivent être considérés que comme des résultats particuliers qui conviennent aux chaux que nous avons étudiées. Pour fixer les idées sur le degré de résistance ou de dureté qu'ils expriment, nous avons choisi un terme de comparaison connu de tout le monde, la bonne brique de première cuite; sa résistance relative est, selon les épreuves décrites, de 5690, et sa dureté de $0^d,096$.

En se rappelant ce que nous avons dit dans le chapitre précédent, en parlant des trois procédés d'extinction, on verra sans peine que, pour chaque espèce de chaux, l'ordre des résistances et des duretés est absolument le même que celui du foisonnement; c'est-à-dire que le procédé qui divise le mieux la chaux, est aussi celui qui donne aux hydrates la plus grande force, résultat conforme à ce principe de

chimie, que l'union des parties constituantes d'un composé est d'autant plus intime que ces parties sont plus tenues (1).

L'acide carbonique répandu dans l'atmosphère se porte sur les hydrates, s'y fixe insensiblement, et les régenère en s'étendant des surfaces au centre. L'épaisseur des parties ainsi régénérées n'est guère au bout d'un an que de six millimètres pour les chaux hydrauliques, et de deux à trois pour les chaux communes. On peut facilement s'en convaincre en pratiquant dans divers sens (avec une petite scie) des sections sur des prismes âgés d'un an; les chaux colorées (*voy.* fig. 1re, pl. III), présentent des bandes enveloppantes, qui se distinguent du noyau par une teinte beaucoup plus foncée, laquelle est due à l'oxidation du fer qu'elles contiennent; mais la dureté seule peut faire reconnaître ces mêmes bandes dans les chaux blanches. Les progrès annuels de leur épaisseur vont en décroissant rapidement, et forment les termes d'une série très convergente; car, plus la distance de la partie qui se régénère à la surface est grande, plus le principe régénérateur éprouve de difficultés à y parvenir. Ces difficultés varient ensuite avec les accidents et le plus ou moins d'uni des surfaces. Quand celles-ci sont lisses, serrées, la bande contiguë est très étroite; elle s'élargit vers les parties rudes et sillonnées, comme on peut le voir dans la figure première; on y remarquera aussi l'influence d'un trou du foret.

Les bouts des prismes cassés dans la première expérience ont été soumis à de nouvelles épreuves après un an. La première époque n'offrait que des hydrates de chaux; la seconde présentait des corps en partie à l'état d'hydrate, et en partie à l'état de carbonate. On doit concevoir que non seulement la disposition fortuite des prismes

---

(1) Il y a une distinction à faire, entre ce qu'on appelle diviser et étendre une matière. La chaux est divisée, autant que sa nature le permette, quand, par une quantité d'eau convenable, elle a passé immédiatement de l'état de chaux vive à celui d'une bouillie pâteuse : une nouvelle addition d'eau l'étend ou la noie, mais ne la divise plus.

sur les planches où ils ont séjourné, mais encore l'irrégularité des surfaces et par conséquent des parties atteintes par l'acide carbonique, et sur-tout la manière dont l'axe de rupture s'est trouvé placé par rapport à ces parties dans les épreuves, ont dû exercer une grande influence sur les derniers résultats et donner lieu à quelques anomalies; c'est pourquoi nous ne tirerons aucune conclusion des nombres qui expriment les résistances relatives; il n'en sera pas ainsi de ceux qui expriment les duretés, car les épreuves du foret se sont faites avec beaucoup d'exactitude; parcequ'il a été toujours possible de l'appliquer sur les parties homogènes régénérées: or il résulte de ces épreuves que les trois procédés d'extinction conservent le même ordre de supériorité que nous avons trouvé pour les hydrates, savoir:

Pour les chaux communes: 1° l'extinction ordinaire; 2° l'extinction spontanée; 3° l'extinction par immersion. Les duretés moyennes relatives sont exprimées dans le même ordre par:

$0^d,400$; $0^d,170$; $0^d,130$.

Pour les chaux hydrauliques: 1° l'extinction ordinaire; 2° l'extinction par immersion; 3° et l'extinction spontanée. Les duretés moyennes relatives sont dans le même ordre:

$0^d,087$; $0^d,81$; $0^d,044$.

Tels sont les principaux résultats donnés par des expériences multipliées.

Il est aisé d'en conclure, 1° que certaines chaux communes, très grasses et blanches, peuvent former par le seul concours de l'eau des corps aussi durs qu'une foule de pierres calcaires naturelles, sur-tout lorsqu'on emploie le procédé ordinaire d'extinction, que l'on donne à la pâte une consistance ferme et liante, et que rien ne s'oppose au retrait;

2° Que l'action de l'air augmente avec le temps la dureté des parties de ces corps qu'elle peut atteindre;

3° Que les chaux hydrauliques, sur-tout celles qui sont colorées, ne donnent par le seul concours de l'eau que des corps légers et tendres;

4° Que l'action de l'air augmente aussi leur dureté, mais pas assez pour la rendre égale à celle qu'elle communique aux hydrates de chaux communes grasses;

5° Qu'enfin les résistances de ces divers composés ne sont point du tout proportionnelles à leurs duretés.

Nous comparerons dans les sections suivantes les résistances de divers mortiers blancs à celles des hydrates et carbonates dont il vient d'être question, et nous verrons combien est peu fondée l'opinion reçue que l'intervention du sable est indispensable pour faire durcir toute espèce de chaux. Nous nous bornerons, quant à présent, à examiner quel parti l'art des constructions pourrait tirer des hydrates de chaux communes très grasses.

En supposant qu'il fût possible de fabriquer des prismes d'une certaine grandeur, il ne faudrait pas compter sur l'accroissement de solidité que l'action de l'air détermine, car dix ans suffiraient à peine pour en régénérer une épaisseur de 0^m,06. Il ne faudrait donc calculer que sur la seule résistance dont la chaux combinée à l'eau est capable; or, cette résistance varie dans le cas le plus favorable entre 2745 et 3690, celle de la bonne brique de première cuite étant comme nous l'avons dit 5690.

Mais la difficulté principale est dans le grand retrait que prend la pâte en durcissant. Lorsqu'on fait des prismes dont les dimensions n'excèdent pas celles d'une très petite brique, qu'on les pose librement sur une aire à laquelle ils n'adhèrent pas, la matière se concentre sans obstacle, et la dessication s'opère. Les prismes se recouvrent néanmoins d'une légère efflorescence, qui détermine des arrachements dans les surfaces, et arrondit un peu les arêtes et les angles; mais, quand les dimensions s'étendent, que les-formes se compliquent et exigent l'usage des moules, alors la masse est gênée dans le mouvement de contraction que la dessication tend à lui imprimer, la pâte

se prend aux parois, les fentes se manifestent, et l'on n'obtient que des fragments. La massivation n'est d'aucun secours.

Le retrait de la chaux est d'autant plus considérable qu'elle est d'une nature plus grasse, et qu'elle a été mieux développée par l'extinction. C'est ce retrait qui empêchera toujours de l'employer seule en guise de mortier, à moins qu'il ne s'agisse de constructions sous l'eau et de chaux hydrauliques, ou d'enduits légers, soumis à une massivation continue et laborieuse (1). Cependant si on voulait se borner à de très petites dimensions et à des formes simples, on pourrait fabriquer à peu de frais, avec des chaux communes blanches et très grasses, de petits carreaux (2) qui, susceptibles d'être bien dressés et polis sur un grès fin, imiteraient le beau marbre blanc, et pourraient servir à faire des pavés en mosaïque.

L'eau n'attaque pas les hydrates de chaux hydrauliques; mais elle décompose tous les autres en les dissolvant. Pour se rendre compte de cette action de l'eau, et vérifier en même temps ce que nous avons dit des progrès de l'acide carbonique, il faut former, avec de la chaux commune en pâte, des boules à-peu-près sphériques, les laisser exposées à l'influence de l'air, et à couvert, l'une pendant un mois, l'autre pendant deux mois, etc. : toutes, à ces diverses époques, seront insapides extérieurement. Si on les casse par le milieu, et qu'on applique la langue sur la section de rupture, on éprouvera la saveur âcre ordinaire à la chaux. En plaçant les deux moitiés de chaque boule sous une eau

---

(1) Vitruve (liv. VII, chap. II), et Pline (liv. XXXVI, chap. XXIII), parlent d'ouvrages légers que les Romains nommaient *albaria opera*, et dans lesquels il n'entrait que de la chaux seule.

Thévenot (Recueil de ses Relations) dit qu'aux Indes, on enduit les murailles avec un crépi de chaux vive éteinte dans du lait et broyée avec du sucre, et qu'on polit ensuite ce mortier avec une agate. Le fait est qu'on mêle à la chaux un peu de lait caillé, de l'huile de gingili, et de l'eau de jagre, sucre brut et très brun qui provient du cocotier. (Voy. les Lettres de M. de Bruno, insérées à la fin des Mémoires de M. de Lafaye.)

(2) D'environ $0^m,03$ d'épaisseur sur $0^m,10$ en carré.

pure, on s'apercevra bientôt, qu'à l'exception d'une enveloppe ou calotte d'autant plus épaisse que la boule aura séjourné plus longtemps à l'air, les parties intérieures se ramolliront, ensuite commenceront à se dissoudre; bref, il ne restera que des demi-sphères creuses, qui représenteront les parties vraiment régénérées et insolubles.

Cette expérience démontre sans réplique que le seul concours de l'eau ne peut, comme le prétend M. Sage, opérer la régénération complète de la chaux commune grasse.

Descotils, en partant de ce fait, que la silice éprouve pendant la cuisson de la pierre calcaire, une altération qui la rend soluble dans les acides, en conclut que cette substance doit se trouver dans un état propre à contracter, par l'addition de l'eau, une union intime avec la chaux; union, ajoute ce chimiste, qui doit être moins attaquable que la chaux seule par l'action de l'atmosphère ou de l'eau. Cette observation explique très bien la résistance que les hydrates de chaux hydrauliques opposent à l'action dissolvante de l'eau; mais elle paraît contradictoire avec la faible consistance qu'ils acquièrent dans l'atmosphère. Nous reviendrons là-dessus en parlant des mortiers ordinaires.

SECTION DEUXIÈME.

CHAPITRE PREMIER.

Mortiers hydrauliques.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Les mortiers hydrauliques sont, comme leur nom l'indique, destinés aux maçonneries placées dans l'eau; on les nomme aussi bétons (1). La chaux en est toujours la base essentielle; on la mêle, selon sa nature, tantôt avec le sable seul, tantôt avec le sable et la pouzzolane, tantôt enfin avec la pouzzolane seule. Nous comprenons sous ce nom de pouzzolane non seulement les produits volcaniques de l'Italie et de la France, mais aussi toutes les substances analogues que l'on modifie par le feu des fourneaux, et auxquelles on parvient à donner, à très peu près, les qualités des pouzzolanes naturelles. On trouvera l'histoire de ces substances dans les ouvrages de Desmarest, Faujas de Saint-Fond, Chaptal, Guyton, Daudin, etc. Il nous suffira de dire que leurs principes essentiels sont, en termes moyens, sur 100 parties : 38 de silice, 41 d'alumine, 6 de chaux, et 15 d'oxide de fer. Dans quelques unes la silice prédomine; il en est qui contiennent quelques centièmes de magnésie et de manganèse, ce qui constitue diverses espèces qui

(1) Peut-être conviendrait-il de ne donner le nom de béton qu'au mortier hydraulique dans lequel on a introduit des cailloux ou de la pierraille.

présentent chacune des caractères physiques particuliers, et différents degrés d'énergie.

Il suit de là que les argiles ferrugineuses, les ocres, les schistes bleuâtres, la houille, le basalte, les laves, le grès ferrugineux, etc., sont autant de matières que le feu peu ramener à l'état des pouzzolanes volcaniques.

Il résulte encore de ces explications, que les mortiers hydrauliques ne sont que des combinaisons d'oxides métalliques. L'étude complète de ces combinaisons exigerait qu'on déterminât en quelles proportions et de quelle manière il convient d'en réunir les éléments pour obtenir le meilleur résultat possible, ou, en d'autres termes, le composé le plus dur. Ce problème présente des difficultés insurmontables; car les oxides constituants étant presque toujours au nombre de quatre au moins, le nombre des combinaisons possibles, en faisant varier les proportions de chacun d'entre eux par rapport à celles des trois autres, même entre certaines limites, deviendrait effrayant; d'ailleurs, la nature ne nous offre point ces oxides isolés; elle nous les présente réunis deux à deux ou trois à trois, souvent quatre à quatre, et nous sommes obligés de les employer dans cet état; ce qui diminue singulièrement le nombre des essais théoriquement possibles, et nous montre, d'un autre côté, que la solution du problème, si elle était connue, ne pourrait presque jamais recevoir d'application.

Nous avons dû nous renfermer dans les bornes que la pratique elle-même a posées; elles ne laissent pas cependant que de présenter encore un vaste champ aux expériences.

Les pouzzolanes dont nous nous sommes servis, ont été passées au tamis et bien mélangées avec la chaux, à l'aide de pilons, dans des bassins, de manière à former une pâte ferme, quoique ductile, égale en consistance à celle des hydrates de chaux dont il a été question (section première, chapitre V). Nous avons hésité quelque temps sur la manière de présenter le béton à l'action de l'eau. En faisant des boules, comme l'ingénieur anglais Smeaton, on s'expose à n'obtenir que de faux résultats; car ces boules devant être préalablement

malaxées, et devenues assez dures pour résister à l'impression des doigts (1), il est évident qu'une partie de l'eau qu'elles renfermaient s'évapore pendant cette manipulation. On ne les immerge donc pas dans l'état de mollesse qui convient au mortier; c'est cependant dans cet état qu'il est nécessaire de l'employer dans les ouvrages hydrauliques.

M. Sage prétend que le moyen des tonnes ou caisses que l'on dépose sous l'eau est illusoire, en ce que le béton prend avant d'être déposé une certaine consistance, et qu'il n'y a qu'une de ses faces en contact avec l'eau. Mais rien n'empêche de faire sur-le-champ l'immersion de la caisse, et de pratiquer dans les planches qui la composent autant de trous qu'on le veut; il suffit d'ailleurs du contact d'une partie du béton avec l'eau, pour étudier ce qui se passe sur cette même partie.

Il est vrai qu'une enveloppe quelconque ôte tout moyen de reconnaître si la masse que l'on expose aurait, sans ce secours, conservé ou non sa forme primitive sans se détremper ou sans s'étendre; mais c'est une chose qu'il importe peu de savoir, car on n'est jamais dans le cas d'employer du béton de cette manière; et si les circonstances l'exigeaient, on trouverait mille moyens de le contenir, au moins pendant les premiers jours; ce qui suffirait.

Nous ferons observer en passant que la matière extractive des bois neufs qu'on n'a point trempés, s'oppose au durcissement des parties du béton qu'elle touche; qu'ainsi, lorsqu'on veut faire usage de caisses, il faut les mettre pendant quelques jours sous l'eau avant que de s'en servir.

Le but même de nos expériences exigeoit que nous eussions sans cesse sous les yeux plusieurs centaines de mortiers hydrauliques; nous avons dû par conséquent recourir à des enveloppes d'un petit volume, et préférer à de petites caisses de bois des gobelets coniques de verre

(1) Recherches expérimentales sur la meilleure composition des ciments hydrauliques. (Biblioth. britann., tom. 1er.)

blanc de $0^m,10$ à $0^m,12$ centimètres de hauteur, sur $0^m,07$ à $0^m,08$ centimètres de diamètre.

Plusieurs personnes pensent qu'il faut absolument opérer sur de grandes quantités de matières pour obtenir des résultats incontestables : cela est vrai dans quelques cas ; mais ici la certitude des résultats dépend moins de la quantité des matières que de l'exactitude des épreuves. Cependant, pour n'avoir rien à nous reprocher, nous avons répété en grand, c'est-à-dire, en faisant usage de caisses et de très petites tonnes, plusieurs expériences qui laissaient des doutes par la singularité même de leurs résultats. Elles ont été confirmées sans exception.

Nous n'avons vu nulle part que les chimistes et architectes qui se sont occupés des bétons les aient soumis à des épreuves comparatives bien rigoureuses ; la plupart se sont contentés de les essayer à coups de marteau, ou d'y enfoncer, soit des coins, soit des tiges de fer, sans égard à la résistance qui a dû naître de la disposition fortuite et de l'inégalité des recoupes introduites dans le mélange. On sent que de pareils moyens n'ont pu donner des résultats bien exacts. Il fallait supprimer les recoupes, parcequ'elles n'entrent que comme remplissage, et que les qualités du mortier hydraulique proprement dit en sont tout-à-fait indépendantes.

Tous nos bétons ont été soumis à deux expériences principales, savoir, la mesure du temps employé par chacun d'eux pour parvenir du degré de consistance primitif à un degré de consistance déterminé, et la mesure de leurs duretés relatives à différentes époques.

La première expérience s'est faite au moyen d'une tige d'acier bien ronde et bien lisse, de 0,0012 de diamètre, limée carrément à l'une de ses extrémités, et engagée par l'autre dans un culot de plomb, du poids de $0^k,30$. La vitesse du durcissement a été exprimée par le nombre de jours qui se sont écoulés depuis l'immersion du béton, jusqu'au moment où sa surface a pu porter la tige sans dépression sensible. Les duretés relatives ont été déterminées par les enfoncements comparés d'une tige aiguë d'acier fondu, soumise, au moyen d'une ma-

chine, à une percussion réglée et constante. Cette machine se compose de deux montants *mm* de fer, assujettis verticalement sur une pièce de bois de chêne (fig. 1 et 2, pl. II), et suivant lesquels peuvent glisser un cube *c*, également de fer, qui sert de tête à la tige T, et un mouton M. R est un petit plateau circulaire, soudé à l'extrémité d'une forte vis, dont l'écrou est engagé dans la pièce de bois; ce qui donne le moyen de l'élever ou l'abaisser à volonté.

Le béton en expérience se place sur le plateau R, de telle façon que lorsque la pointe de la tige T touche à sa surface, les bras *bb* du cube *c*, soient à zéro des divisions gravées sur les faces des montants. On assujettit alors le vase qui le contient, au moyen des vis VV, qui portent chacune un collet à leur extrémité; on élève le mouton jusqu'à l'arrêt *a;* on le laisse tomber, et on lit sur les divisions le nombre de millimètres dont la tige est entrée.

Les bétons ne sont guère soumis, dans les constructions ordinaires, qu'à des forces mortes, qui tendent à les écraser ou à les rompre en tirant. Ils opposent à ces forces des résistances qui ne sont point simplement proportionnelles à celles qu'ils font éprouver à une pointe soumise à l'action d'une force vive; et comme c'est le premier genre de résistance qui nous intéresse principalement, nous avons dû chercher par quels rapports il dépend du second. Nous avons trouvé (*voyez* tableau n° 3) « que les carrés des nombres qui expriment les enfonce- « ments de la tige, sont réciproquement proportionnels aux résistances « à la force qui tend à casser (1). » C'est d'après ce principe que nous avons ramené les résultats donnés par la machine, à ce qu'ils sont actuellement dans les tableaux. Nous prévenons sur-tout qu'il n'y a rien

(1) En examinant le tableau n° 3, on s'apercevra facilement que les résultats de l'expérience et ceux du calcul diffèrent quelquefois de plusieurs centièmes; mais en réfléchissant à toutes les causes d'anomalies qui se glissent dans les expériences de cette nature, on sera convaincu qu'il n'est guère possible d'arriver à une coïncidence parfaite.

de commun entre ces nombres et ceux qui expriment les résistances des mortiers ordinaires dont il est question dans la troisième section. Ceux-ci représentent en effet le nombre de décagrammes, ou le poids sous lequel se casse un prisme de dimensions données, et soumis d'une certaine manière à l'action de ce poids; les premiers ne sont que des nombres abstraits qui perdent toute signification dès qu'on cesse de les comparer ensemble.

CHAPITRE II.

Influence du degré de cuisson des Pouzzolanes artificielles sur la résistance des Bétons.

On sait (1) que l'action du feu, selon sa durée et son intensité, modifie de diverses manières les composés d'oxides métalliques qui lui sont soumis; que certains oxides passent à un moindre degré d'oxidation, tandis que d'autres se constituent à l'état de peroxides; que quelques uns se réduisent, etc. etc.; qu'en un mot, il survient de grands changements qui en amènent aussi de très grands dans les propriétés des composés.

Il suit de là que les matières à pouzzolanes, soumises à la cuisson, doivent présenter divers degrés d'énergie, selon que cette cuisson a été plus ou moins forte. Personne, que nous sachions, n'a cherché encore à en déterminer l'influence sur la dureté des bétons. On retrouve, à dire vrai, dans tous les traités de construction, dans tous les devis, la même maxime énoncée ainsi, relativement au ciment ordinaire : *Le ciment devra être fait avec du tuileau bien cuit.* Mais que signifient ces mots *bien cuit?* Il y a un nombre infini de degrés de cuisson; la

(1) Thénard, Traité de Chimie.

brique est cuite, selon l'acception générale du mot, quand le feu a développé entièrement la couleur brune ou rouge qui la caractérise, qu'elle est sonore, et ne se détrempe point dans l'eau; elle est biscuite quand elle a subi une nouvelle cuisson; sa couleur est alors plus foncée, sa dureté plus grande; elle est moins avide d'eau qu'auparavant, et résiste mieux aux intempéries. Elle est surcuite, ou calcinée, quand elle a subi une demi-vitrification; sa cassure est alors vitreuse, sa couleur gris de fer; elle ne happe plus à la langue, elle raie le verre, etc. Il suffit d'étudier dans ces trois états l'argile ferrugineuse, base essentielle des briques et des poteries rouges, pour savoir ce qui résulterait des degrés intermédiaires. C'est aussi ce que nous avons fait.

La houille présente également trois cas remarquables : soumise à un feu actif, elle se prend en scories cellulaires, dures et pesantes; à un feu modéré et continu, elle se réduit en masses noires, charbonneuses, très légères, et passe enfin à l'état de cendres plus ou moins rousses.

Le schiste bleu, chauffé jusqu'au rouge, et maintenu ainsi pendant plusieurs heures, perd sa couleur pour en contracter une nouvelle qui tire sur le roux doré; c'est ce terme que nous avons nommé premier degré de cuisson; si on active le feu en portant sa chaleur jusqu'au blanc, ses feuillets se boursoufflent et se prennent en masses poreuses, légères, friables, d'un vert pâle : c'est le dernier degré.

Le basalte n'éprouve, dans ses apparences physiques, qu'une très légère altération par l'effet soutenu du feu rouge; il coule au feu blanc.

Le grès ferrugineux se comporte de la même manière.

Nous avons étudié les propriétés de ces diverses substances, considérées comme pouzzolanes, dans les différents états que nous venons de décrire, mais seulement dans leur combinaison avec des chaux communes et une chaux hydraulique moyenne. Nos conclusions, par conséquent, ne s'étendront point aux chaux éminemment hydrauliques.

En parcourant le tableau n° 4, on voit :

1° Que le premier degré de cuisson convient à l'argile et au grès ferrugineux ; que l'énergie de ces matières s'affaiblit rapidement, à mesure qu'elles approchent du terme où elles commencent à subir une espèce de vitrification (1);

2° Que la houille, réduite en cendres à un feu lent, l'emporte sur celle qui est parvenue à l'état de scories, dures ou friables, pesantes ou légères ;

(1) On lit dans le Cours de construction de M. Sganzin, inspecteur-général des ponts et chaussées, « qu'on peut donner de la qualité à un ciment provenant de « briques tendres, en lui faisant éprouver, dans un fourneau à reverbère, un haut « degré de calcination; que le bon résultat de cette opération est conforme aux « principes, etc. » A l'appui de cette observation, M. Sganzin cite une expérience faite en grand à la construction du radier général du pont d'Alexandrie. Cette expérience n'est point contradictoire avec nos résultats; car la chaux dont on se sert à Alexandrie est une chaux éminemment hydraulique, que l'on tire de Casal sur le Pô (*Voyez*, pour ce qui concerne les chaux éminemment hydrauliques, le chap. X). Quant aux principes dont parle l'auteur, nous ne les connoissons point; nous doutons même qu'on en ait jamais posé sur cette matière. Guyton de Morveau a cependant indiqué, dans un rapport sur les schistes de Cherbourg, que la cuisson des substances à pouzzolane devait être dirigée de manière, que le fer qu'elles contiennent ne passât pas à l'état de fonte, en se réduisant par le contact du charbon; or le fer nous paraît être plus voisin de l'état métallique dans la brique noirâtre et vitreuse qui résulte d'un excès de calcination, que dans la brique brune ou rouge de première cuite. Ainsi l'opinion de Guyton, si on veut l'admettre comme principe, est loin de conduire à cette règle générale, qu'il faut calciner la brique pour en tirer de bon ciment. La pouzzolane rouge ou jaune des environs de Rome est évidemment à l'état d'argile ocreuse de première cuite; si on l'expose à un feu violent, elle se change en émail noir, et perd ses propriétés.

Nous ferons remarquer, sans toutefois en tirer aucune conséquence, que les cinq matières à pouzzolanes dont il est question dans ce chapitre, modifiées par le feu de manière à jouir de toute leur énergie, semblent en même temps être arrivées à ce point, qu'elles ont la moindre pesanteur spécifique possible, et toute la faculté absorbante (pour l'eau) dont elles sont capables. (Faculté absorbante doit s'entendre de la propriété qu'ont les corps secs et poreux de s'imbiber d'une certaine quantité d'eau; il ne s'agit point d'une action chimique.)

3° Que le schiste bleu demande à être boursoufflé;

4° Qu'enfin le basalte doit couler.

C'est sur-tout lorsque l'on combine ces substances avec une chaux commune très grasse, qui par elle-même n'a que peu d'énergie, que l'influence du degré de cuisson se manifeste. Nous nous contenterons de citer, en les simplifiant, les rapports des résistances des bétons fabriqués avec la chaux n° 13, en renvoyant au tableau même pour l'examen des autres résultats.

	Résistances relatives des bétons âgés d'un an.
Béton contenant argile ferrugineuse de première cuite.	1,00
Idem. . . . . . . argile biscuite.	0,30
Idem. . . . . . . argile à demi vitrifiée.	0,17
Béton contenant cendres de houille.	1,00
Idem. . . . . . . scories de houille, dures et pesantes.	0,62
Idem. . . . . . . scories de houille, friables et légères.	0,10
Béton contenant basalte coulé.	1,00
Idem. . . . . . . basalte de première cuite.	0,16
Béton contenant schiste boursoufflé en masses spongieuses.	1,00
Idem. . . . . . . schiste de première cuite.	0,12
Béton contenant grès ferrugineux de première cuite. . .	1,00
Idem. . . . . . . grès ferrugineux coulé.	0,48

Les nombres qui expriment ici les résistances ne sont, pour plus de simplicité, comparables que de deux à deux, ou trois à trois, pour chaque espèce de béton; notre objet n'est pas de constater l'efficacité

de telle ou telle pouzzolane par rapport à telle autre : les proportions des éléments de chaque espèce sont tellement variables, que cette comparaison ne serait d'aucune utilité. Il est constant que, dans certains endroits, les schistes peuvent l'emporter sur les argiles, tandis que le contraire aura lieu dans d'autres.

On peut déja concevoir que des expériences comparatives sur les mortiers, toutes grossières qu'elles paraissent d'abord, demandent une grande attention, parcequ'il existe une foule de causes d'anomalies qu'il faut écarter. Dans une même fournée de briques, par exemple, il y aura autant de degrés de cuisson différents qu'il existe de lits de briques; si par mégarde on emploie, tantôt du ciment provenant des lits inférieurs, tantôt du ciment des lits supérieurs, et qu'on veuille comparer ensuite sous divers rapports les bétons qui en résultent, on sera conduit à de fausses conséquences.

CHAPITRE III.

Influence des proportions de la Chaux, relativement à la quantité et à la qualité des autres matières qui entrent dans la composition des Bétons.

Supposons, d'une part, une chaux hydraulique très maigre, et de l'autre, une chaux commune très grasse, l'expérience a démontré depuis long-temps que pour former du béton également gras avec la même pouzzolane et ces deux chaux prises séparément, il en faut employer d'inégales quantités; il en sera de même de diverses pouzzolanes à l'égard d'une même chaux. Il suit de là que, pour prescrire des proportions, il faudrait avoir fait autant d'essais qu'il y a de diverses substances; travail impossible à un seul homme. C'est donc à chaque constructeur d'étudier, sous ce rapport, les matériaux dont il

doit disposer. En présentant quelques expériences, nous n'avons d'autre but que de démontrer l'importance de l'étude que nous recommandons, et de combattre quelques vieilles erreurs qui, devenues préceptes, semblent même interdire le doute.

En examinant le tableau n° 5, on en tire les conclusions suivantes : Si l'on prend en volumes 1,00 de sable et 1,00 de ciment de brique rouge ensemble, ou 2,00 de ciment seul, pour composer un béton, qu'on fasse varier la dose de chaux depuis 2,70 jusqu'à 0,50 (la chaux est censée mesurée en poudre éteinte par immersion), les résistances des bétons correspondants, croîtront et décroîtront entre ces deux limites, tant pour une chaux commune que pour une chaux hydraulique moyenne.

Le *maximum* de résistance du béton à chaux commune très grasse, contenant sable et ciment, correspondra à une quantité de chaux comprise entre 1,00 et 0,50, mais plus voisine de 1,00 que de 0,50. Si le béton ne contient que du ciment, ce *maximum* sera compris entre 1,50 et 1,00, mais plus près de 1,00 que de 1,50; de sorte que 1,00 de chaux est le terme moyen en-deçà et au-delà duquel se trouvent, à de très petites distances, les *maxima* que nous cherchons dans les deux cas spécifiés.

Pour une chaux hydraulique moyenne, ces *maxima* ne dépassent point le même terme 1,00 dont ils sont très voisins. Il est certain qu'ils doivent s'en écarter de plus en plus en remontant, à mesure que le degré de maigre de la chaux augmente; il peut même arriver que les limites des proportions comprises dans le tableau n° 5 soient dépassées, comme nous l'indiquent les deux dernières expériences du tableau n° 12.

Nous ferons actuellement observer qu'un volume de chaux en poudre obtenue par immersion, ne produit guère, lorsqu'on le réduit en pâte, que 0,60; or 0,60 contre 2,00 de sable et ciment, ou de ciment seul, donne un mortier excessivement maigre. Au-dessous de 0,60, la chaux disparait en quelque sorte; les matières semblent n'avoir été que mouillées, et il n'y a plus de liaison. Ces faits prouvent donc,

contre l'opinion commune, que, pour tous les bétons à chaux grasses et même moyennes, il vaut mieux pécher par défaut de chaux que par excès.

Ces observations ne présenteraient qu'un médiocre intérêt, si l'influence des proportions sur la résistance des bétons, n'était que faiblement prononcée; mais on voit qu'entre des limites peu étendues, selon les circonstances et la nature de la chaux, elle peut aller jusqu'à décupler cette résistance, ce qui mérite bien qu'on y fasse attention. En général, les proportions jouent un rôle d'autant plus remarquable, que la chaux et la pouzzolane que l'on emploie ont moins d'énergie.

CHAPITRE IV.

Influence des trois procédés d'Extinction.

La manière d'éteindre la chaux exerce une influence tellement prononcée sur la dureté du béton, qu'en certains cas elle peut sextupler sa résistance; on concevra, d'après cela, l'importance de la nouvelle étude qui va nous occuper (1).

En parcourant les tableaux d'expériences n°s 6, 7, 8, 9, 10 et 11, on verra que non seulement chaque espèce de chaux présente, relativement à la manière dont elle a été éteinte, des résultats qui lui sont

(1) On lit dans le Traité de la construction des ponts, par Gauthey, t. II, p. 284, le passage suivant: « On s'est beaucoup occupé des procédés à suivre pour l'extinc« tion de la chaux, et pour la fabrication du mortier; il était, ce semble, plus « important d'avoir égard à la composition de la pierre à chaux, etc. etc. » Gauthey n'est pas le premier qui ait regardé comme indifférents et le procédé d'extinction, et la manière d'opérer le mélange des matières. Cette erreur prouve à quel point des constructeurs, fort habiles d'ailleurs, ont négligé l'étude d'une partie si essentielle de leur art.

propres, mais que les pouzzolanes elles-mêmes apportent encore, selon leur nature, des modifications qui compliquent les faits, et en rendent l'ensemble plus difficile à saisir.

On en remarque cependant un très grand nombre qui s'accordent dans le même sens, et deviennent ainsi susceptibles d'être présentés d'une manière générale.

Afin d'éviter les périphrases et une multitude de répétitions de mots, nous désignerons les trois procédés d'extinction chacun par le numéro qu'il porte dans le chapitre IV de la première section, et simplement par différences du premier procédé au second, du premier procédé au troisième, etc.; l'excès des résistances des bétons fabriqués par le premier procédé, sur celles des bétons fabriqués par le second, etc. Les différences seront positives, quand le second ou le troisième procédé l'emportera sur le premier, et négatives dans le cas contraire.

Examinons d'abord les tableaux n°s 6, 7, 8, 9 et 10, qui sont les plus complets, et présentent ensemble 105 espèces distinctes de bétons, dont 37 appartiennent au premier procédé, 37 au second, et 31 au troisième; et prenons les résultats de la première année d'immersion.

Pour comparer le premier procédé au second, il ne nous reste que 30 expériences, parcequ'il en est sept qui n'ont pas donné de résultats. Or sur 30 expériences, les différences sont positives 28 fois, nulles une fois, et négatives une fois.

Pour comparer le premier procédé au troisième, il nous reste 29 expériences, parceque 2 ont été sans résultats; or les différences sont positives 29 fois.

Pour comparer le second procédé au troisième, il nous reste également 29 expériences, dont 25 sont en faveur de celui-ci, une seule négative, et trois non décisives.

Cette espèce de dépouillement prouve donc que, pour les chaux communes, grasses, moyennes ou maigres, ainsi que pour les chaux hydrauliques peu énergiques, les procédés d'extinction, rangés par ordre de supériorité, sont le troisième, le second et le premier.

Diverses circonstances, qu'il est inutile d'exposer ici, ne nous ayant

point permis de faire usage de l'extinction spontanée pour les trois espèces de chaux dont il est question dans le tableau n° 11, nous ne pouvons, d'après ce même tableau, continuer à comparer que le second procédé au premier; or sur 7 expériences, les différences sont négatives 6 fois.

Ce fait conduit à des conséquences remarquables, si l'on observe d'ailleurs, en parcourant les tableaux précédents, que les plus grandes différences positives appartiennent aux chaux communes les plus grasses (1). Il paraîtrait, en effet, qu'à partir de celles-ci, comme premier degré de l'échelle, à mesure qu'en parcourant toutes les nuances intermédiaires on s'avance vers les chaux hydrauliques les plus maigres, dernier degré, les différences décroissent, finissent par devenir nulles, et croissent ensuite en sens contraire; tellement, que les chaux communes et les chaux médiocrement hydrauliques occuperaient, les premières le commencement, les secondes la fin de la partie positive de cette échelle, et les chaux éminemment hydrauliques la partie négative.

Cette loi est très simple, mais est-elle suffisamment démontrée par les expériences que nous venons d'exposer? Le lecteur jugera (2).

L'extinction spontanée paraît être comprise dans la même loi; mais sa prééminence, constatée par cinquante-quatre comparaisons, qui ne présentent qu'une exception, annonce des limites un peu plus étendues.

Voilà des résultats auxquels on ne pouvait guère s'attendre, d'après tout ce qui a été dit contre les qualités de la chaux qui a fusé à l'air: ce sont nos essais préliminaires sur les hydrates (sect. Ire, chap. V.) qui nous ont fait entrevoir que l'extinction spontanée n'avait jamais

---

(1) Il faut choisir, pour faire cette comparaison, les bétons où la chaux a dû jouer le principal rôle, à raison du peu d'énergie des matières avec lesquelles elle se trouve mêlée.

(2) On verra, dans la troisième section, d'autres expériences sur les mortiers ordinaires confirmer pleinement celles-ci.

été étudiée. M. Faujas de Saint-Fond est le seul qui ait remarqué que la chaux de Montélimart ainsi éteinte, fait encore un très bon mortier; mais il ajoute qu'il vaut mieux, dans les constructions soignées, faire usage de chaux nouvelle (1).

Pour compléter ces observations, il faudrait résoudre une autre question non moins importante que la première: on remarque, par exemple, que les différences du premier procédé aux deux derniers sont généralement beaucoup plus fortes pour les bétons qui contiennent du sable et du ciment ordinaire, ou des scories de houille, que pour ceux qui sont composés avec du ciment d'argile brune ferrugineuse seul. Or cette dernière substance est la plus énergique de toutes celles que nous avons employées. Cette comparaison conduit à penser que, puisqu'il existe très probablement des pouzzolanes naturelles douées d'un plus grand degré d'énergie encore que notre argile, il serait également possible qu'elles rendissent les différences nulles ou négatives, c'est-à-dire, favorables au procédé ordinaire.

Ainsi, ce ne serait pas seulement de la nature de la chaux, mais encore de celle de la pouzzolane, qu'il faudrait faire dépendre le choix du procédé d'extinction.

Voilà un champ assez vaste ouvert aux expériences : d'autres occupations nous forcent, à regret, d'en sortir sans l'avoir entièrement parcouru.

Cette grande question, du meilleur procédé d'extinction, a été agitée depuis long-temps parmi les constructeurs; il n'est pas étonnant qu'elle ait été résolue par les uns en faveur de l'immersion, et par d'autres en faveur du procédé ordinaire : chacun s'est servi des matières qui lui sont tombées sous la main, sans se douter seulement que ce qui allait résulter d'une telle expérience ne conviendrait exactement, et en toute rigueur, qu'à ces mêmes matières. M. Faujas seul

---

(1) On verra plus tard que cette restriction est très juste quant à la chaux de Montélimart, et à toutes les chaux éminemment hydrauliques.

paraît avoir entrevu que la chaux, selon sa nature, se prête de préférence à tel procédé d'extinction plutôt qu'à tel autre; car il dit, dans une note de son Mémoire, en parlant de l'immersion : « Lorsqu'on est « dans le cas de faire usage d'une excellente chaux vive (hydraulique), « on peut se dispenser de mettre en pratique la méthode de M. de « Lafaye; mais toutes les fois qu'on sera forcé d'employer de la chaux « d'une qualité médiocre, je conseille, j'exhorte fort d'en faire usage. »

Il nous reste à examiner comment l'extinction, pratiquée de telle ou de telle manière, peut exercer une si grande influence sur les qualités de la chaux. Il est certain que tous les principes qui se trouvaient dans la chaux vive sont encore dans la chaux éteinte, quelque procédé qu'on ait suivi; car la fumée qui se dégage n'est (*voy.* tous les Traités de chimie) qu'une eau vaporisée qui mouille à une certaine distance les corps froids sur lesquels elle se précipite, et qui ne verdit le papier teint avec la mauve que parcequ'elle entraîne un peu de chaux très divisée. Le seul principe susceptible d'être enlevé serait l'acide carbonique; mais l'affinité qui en lie les dernières parties aux molécules de chaux n'ayant pu être détruite par le feu blanc du fourneau, ne le sera pas par une chaleur de 240 degrés (therm. de Réaum.). Ainsi la chaux ne perd rien de ce qu'elle contenait; elle reçoit de l'eau, et en outre une certaine quantité d'acide carbonique par le dernier procédé seulement.

S'il était possible qu'une partie de cette eau fût décomposée par quelques oxides contenus dans la chaux, il se dégagerait du gaz hydrogène; ce qui n'a pas lieu (1).

On ne peut donc rechercher les causes de l'influence du mode d'ex-

---

(1) Nous avons introduit successivement diverses espèces de chaux vives, tenant encore de l'acide carbonique, dans une grande cornue de grès avec de l'eau distillée; nous avons reçu, au moyen d'un tube recourbé, les vapeurs et le gaz qui se dégagent pendant l'extinction, dans un grand bocal plein d'eau de chaux filtrée, et renversé sur la cuve hydro-pneumatique pleine de la même eau. L'opération terminée, nous avons retiré, en le bouchant, le bocal qui contenait environ deux

tinction que dans les diverses quantités d'eau, et par suite dans les divers degrés de développement que la chaux reçoit. Alors tout s'explique de soi-même. En effet, il est certain que la chaux éteinte par immersion tend à prendre peu à peu dans l'eau tout le volume qu'elle aurait pris d'abord si elle eût été éteinte par le procédé ordinaire (1). Elle doit donc produire, en se dilatant, des efforts dont l'effet est de comprimer le béton, et de le rendre d'autant plus compacte, qu'elle a plus de chemin a faire pour atteindre son entier développement; or la chaux très grasse qui, traitée par l'immersion, ne rend en pâte qu'environ le tiers de ce qu'elle aurait rendu par l'extinction ordinaire, pousse avec bien plus d'énergie que la chaux éminemment hydraulique, qui, dans les mêmes circonstances, rend à-peu-près les quatre cinquièmes; ce qui explique très bien le décroissement que l'on observe dans les différences du premier au second procédé, à mesure que le degré de maigre de la chaux augmente, mais ne montre pas comment ces mêmes différences peuvent devenir nulles, et ensuite négatives. Remarquons, à ce sujet, que si le défaut de foisonnement favorise la solidification d'une part, il est contraire, de l'autre, à l'intimité de la combinaison de la chaux avec les autres éléments du béton, et qu'il s'établit par conséquent une lutte entre ces deux actions; or il y a

---

tiers de gaz et un tiers d'eau de chaux; nous l'avons agité ensuite long-temps, sans apercevoir de précipité dans le liquide. L'ayant retourné et débouché de nouveau dans la cuve, il ne s'est point manifesté d'absorption; enfin, une allumette enflammée a brûlé dans le gaz qu'il renfermait, sans que la lumière changeât de couleur ni d'intensité : il n'est donc sorti de la cornue que de l'air ordinaire et de l'eau.

(1) Pour se convaincre de cette vérité, qu'on prenne de la chaux commune éteinte par immersion; qu'on la tamise, et qu'on en fasse ensuite, avec une pouzzolane de couleur foncée, un béton bien corroyé : on n'apercevra dans la pâte aucune trace de chaux non mêlée. Mais si, après avoir laissé cette pâte sous l'eau pendant deux ou trois jours, on la rompt pour en examiner la cassure, on apercevra dans celle-ci une multitude de petits points blancs, qui ressortiront d'autant mieux, que la couleur de la pouzzolane sera plus foncée.

équilibre quand elles sont égales, et le premier procédé l'emporte sur le second, ou le second sur le premier, selon que la puissance de l'intimité pour favoriser la combinaison, l'emporte ou non sur celle de l'espèce de compression qui naît du développement de la chaux.

L'expérience démontre que l'action de l'intimité est plus puissante que celle de la compression dans les bétons à chaux éminemment hydrauliques, l'analogie porte à croire que la même chose pourrait peut-être avoir lieu à l'égard des chaux communes, si elles étaient combinées, dans les meilleures proportions possibles, avec des pouzzolanes très énergiques; mais dans tous les autres cas, c'est l'inverse qui a lieu.

On peut dire du troisième procédé, comparé au premier, tout ce qu'on vient de dire du second; mais on ne peut expliquer sa supériorité sur celui-ci, que par la quantité d'acide carbonique dont les chaux communes se chargent, sans pourtant se régénérer entièrement par leur extinction à l'air. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

CHAPITRE V.

Influence réciproque des qualités de la Chaux et de la Pouzzolane; action de l'eau sur les parties du Béton qu'elle touche immédiatement.

Le tableau n° 4 nous présente, dans diverses combinaisons de quatre chaux avec quatre pouzzolanes différentes, plusieurs faits qu'il importe d'examiner. Ces pouzzolanes se rangent, relativement à chaque chaux, dans un ordre de supériorité différent; savoir :

Pour la chaux hydraulique moyenne, n° 8, 1° schiste, 2° basalte, 3° argile et grès ferrugineux (égalité);

Pour la chaux commune, n° 11, 1° argile ferrugineuse et basalte (égalité), 2° schiste, 3° grès ferrugineux;

Pour la chaux commune très grasse, n° 13, 1° argile ferrugineuse, 2° schiste, 3° basalte, 4° grès ferrugineux;

Pour la chaux commune très maigre, n° 15, 1° basalte, 2° argile ferrugineuse, 3° schiste, 4° grès ferrugineux.

Ces résultats prouvent déja qu'une pouzzolane peut donner un fort bon béton avec certaine chaux, et convenir beaucoup moins à telle autre (1).

Le tableau n° 5 nous montre ensuite, dans les limites des proportions ordinaires, une chaux commune très grasse l'emportant sur une chaux hydraulique moyenne, lorsqu'elles sont combinées l'une et l'autre avec du ciment de brique seul, et la chaux hydraulique reprenant l'avantage lorsque le ciment est mêlé avec moitié sable. On trouve d'ailleurs, dans les tableaux n°s 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13, une foule d'exemples qui prouvent qu'une chaux commune convient mieux aux substances très énergiques qu'une chaux hydraulique. Nous voyons celle-ci constamment supérieure dans les bétons gras, et la chaux commune dans les bétons maigres. Tous ces faits s'enchaînent et s'expliquent les uns par les autres.

On ne peut contester que, parmi toutes les manières de combiner en diverses proportions les cinq ou six oxides qui constituent les bétons, il n'en soit une d'où doit résulter le composé le plus solide. Cela posé, plus les combinaisons fortuites des pouzzolanes et des chaux de construction s'approchent de ces proportions inconnues, plus aussi les bétons qui en résultent offrent de dureté; or il peut arriver que la chaux contienne déja, et dans l'état convenable, une grande partie des oxides nécessaires, ou qu'elle n'en contienne que

---

(1) A l'appui de ces expériences, nous citerons celles qui furent faites à Paris en 1807 par une commission, présidée par M. Guyton de Morveau, pour constater le degré d'énergie des schistes de Cherbourg. Nous trouvons, dans les résultats présentés par la commission, que le schiste ferrugineux de Haineville, qui a donné le plus mauvais béton avec une chaux grasse, en a fourni au contraire un des meilleurs avec une chaux maigre (hydraulique).

très peu, et même pas du tout; on conçoit que, dans le premier cas, la présence d'une bonne pouzzolane peut amener une superfluité plus nuisible qu'utile, tandis que, dans le second, elle produira tout l'effet desirable : l'influence des proportions s'explique de la même manière (1).

Le raisonnement et l'expérience indiquent donc, d'un commun accord, que si l'on range sur une même ligne, par ordre d'énergie, toutes les chaux connues, il faudra placer les pouzzolanes sur une ligne parallèle, et dans un ordre inverse, pour que les termes qui se correspondent sur cette échelle donnent ensemble les meilleurs résultats possibles. Ainsi, les chaux hydrauliques de première qualité seraient en présence des sables éminemment quartzeux, les chaux communes très grasses vis-à-vis des pouzzolanes douées d'une grande énergie.

Ce n'est que par de telles considérations qu'il est possible d'expliquer les contradictions que présentent divers Mémoires publiés sur les pouzzolanes : il résulte, par exemple, des expériences faites par M. Chaptal, et répétées en 1786, au port de Cette, par MM. les commissaires des états de Languedoc, que les pouzzolanes du Vivarais sont très inférieures à celles de l'Italie. On trouve ensuite, dans un Mémoire servant de supplément à celui de M. Faujas de Saint-

(1) Nous ne connaissons point les proportions des principes constituants des pouzzolanes dont nous nous sommes servis; mais nous savons que le schiste siliceux de Cherbourg et les pouzzolanes d'Italie, qui donnent de bien meilleurs résultats avec les chaux communes qu'avec les chaux hydrauliques, contiennent de 55 à 70 pour 100 de silice, tandis que les pouzzolanes du Vivarais et le schiste ferrugineux de Haineville, qui sont dans le cas contraire, n'en contiennent que de 26 à 32. Ainsi il paraîtrait que, dans la combinaison d'une chaux éminemment hydraulique avec une pouzzolane très énergique, il y a superfluité de silice. Mais l'expérience démontre, d'un autre côté, la convenance mutuelle des chaux éminemment hydrauliques et des sables siliceux; d'où il résulte que la silice, telle qu'elle est dans le quartz, diffère essentiellement, par ses propriétés, de celle que le feu a combinée avec l'alumine et l'oxide de fer.

Fond (1), d'autres expériences qui paraissent avoir été faites avec beaucoup de soins, et qui démontrent précisément le contraire. Mais, d'une part, on s'est servi de la chaux de Montélimart (tableau n° 1), qui est éminemment hydraulique, et de l'autre, de la chaux ordinaire des environs de Cette; ce qui explique parfaitement les résultats contradictoires dont il est question.

Toutes ces idées, nous le savons, sont opposées aux idées assez généralement reçues; mais comme elles ne sont point conjecturales, qu'elles touchent pour ainsi dire aux faits, elles méritent quelque attention. En partant de cette supposition, que la chaux commune grasse ne convient pas même à la pouzzolane proprement dite, Gauthey (2) raisonne ainsi : « Si le mortier fait avec la chaux grasse ne « prend point sous l'eau, c'est qu'en mêlant avec cette chaux les autres « matières, *et même la pouzzolane*, on ne peut parvenir à faire entrer « en même temps dans le mélange assez de chaux et d'oxides métal- « liques, etc. » La supposition nous semble gratuite; s'il en fallait une autre preuve que nos expériences, nous ferions observer, avec MM. Sage et Rondelet, que la chaux des environs de Rome se fait avec un marbre très pur (le Travertin); qu'elle est par conséquent de nature grasse, et que c'est cependant de la combinaison de cette chaux et de la pouzzolane que sont résultés ces fameux ciments antiques des thermes, réservoirs, aqueducs, etc., qu'on polit aujourd'hui pour en faire des boîtes. En second lieu, si les bétons ordinaires à chaux grasse et pouzzolane ne prennent point, ou prennent mal dans l'eau, c'est au contraire parcequ'on est dans l'usage d'y mettre toujours trop de chaux; de sorte que cette substance se trouve vraiment en excès par rapport aux autres oxides. Nous trouvons, en effet, que dans presque toutes les expériences (3) où la chaux grasse a donné de

---

(1) Supplément aux Recherches sur la pouzzolane, par M. Faujas de Saint-Fond.
(2) Traité de la construction des ponts, tom. II, pag. 284.
(3) Voyez le premier Mémoire de M. G. Lepère, et le Mémoire cité de M. Chaptal.

mauvais résultats, le béton en contenait au moins autant (mesurée en pâte) que de pouzzolane, il y en avoit donc au moins la moitié de trop (d'après nos expériences).

Nous avons vu (chap. V, sect. 1re) à quelle cause Descotils attribue la propriété des chaux hydrauliques; une forte analogie nous porte à penser que c'est à la même cause, c'est-à-dire à l'état de la silice dans les pouzzolanes, que celles-ci doivent la faculté de s'unir à la chaux d'une manière intime, et de faire prise avec elle dans l'eau. Cette opinion acquiert un nouveau degré de probabilité par le fait suivant : c'est que la silice se présente dans un état semi-gélatineux lorsqu'on traite l'ocre par l'acide muriatique; ce qui prouve qu'elle y est en combinaison avec l'oxide de fer, ainsi que M. Berzelius l'a fait voir (1).

Si, comme l'assure M. Chaptal (2), les argiles dépourvues de fer et soumises à la calcination, ne peuvent être employées comme pouzzolanes, c'est alors l'oxide de fer (3) qui agit principalement sur la silice et la modifie, à l'aide du feu, dans les argiles ocreuses, comme le fait la chaux proprement dite, dans les pierres à chaux hydrauliques. L'alumine paraît donc jouer le moindre rôle dans toutes ces réactions; elle fait cependant partie essentielle des bonnes pouzzolanes (4).

---

(1) Annales de Chimie, t. LXXXII, p. 19.

(2) Mémoire sur les terres ocreuses.

(3) Quelques constructeurs ont une si haute idée de l'influence du fer, qu'ils l'ont regardé comme la cause principale de l'efficacité des pouzzolanes; on voit qu'uni à la silice et à l'alumine à l'état d'oxide, il détermine en effet les propriétés hydrauliques de ces substances; mais nous pouvons affirmer que lorsqu'il est isolé, soit à l'état de limaille, soit à l'état de battiture, son action sur la chaux se réduit à bien peu de chose.

(4) Il est des pouzzolanes dans lesquelles quelques centièmes d'oxides alcalins font les fonctions d'une certaine quantité d'oxide de fer; telle est la pierre ponce analysée par Klaproth, qui contient 77,50 de silice, 17,50 d'alumine, 2 d'oxide de fer, et 3 de potasse et de soude; tel est sur-tout le produit qui résulte de la distillation de l'argile avec le nitrate de potasse, produit dont l'énergie est si remarquable.

Dans tous les cas, on voit qu'il ne suffit pas, pour raisonner juste en pareille matière, de considérer, comme on l'a fait jusqu'à présent, les proportions de tels ou tels principes isolés, mais qu'il faut avoir égard à la nature des combinaisons dans lesquelles ils se présentent. Il est bien certain, par exemple, que si l'on avait séparément 1,00 de chaux pure éteinte en poudre, 1,00 de silice, 0,80 d'alumine, et 0,01 de peroxide de fer, on n'obtiendrait, en amalgamant ces oxides à l'aide de l'eau, qu'un fort mauvais résultat; tandis que si l'on pétrit la même chaux avec 0,20 de silice, 0,10 d'alumine, et 0,05 de peroxide de fer; que l'on fasse également une pâte avec le reste des matières, et qu'après avoir soumis séparément les deux mélanges à un degré de cuisson convenable, on les divise, pour les combiner ensuite par la voie humide, on formera un bon béton.

Examinons actuellement sous d'autres rapports l'influence réciproque des qualités de la chaux et de la pouzzolane.

Dans toutes les constructions hydrauliques où le béton joue un grand rôle, il faut distinguer les parties que l'eau touche sans cesse, de celles qui, enveloppées de toutes parts, ne peuvent être même que difficilement en communication médiate avec ce fluide, à raison de l'imperméabilité de l'enveloppe (il est certain qu'une jatte de bon béton, pleine d'eau, ne doit pas laisser apercevoir de transudation). Or jusqu'à présent nous n'avons considéré que ce qui se passe intérieurement, et non ce qui a lieu sur les surfaces; aussi, tout ce que nous avons dit n'est-il point applicable, sans exception, à ce dernier cas.

Les chaux communes, combinées dans les proportions ordinaires avec certaines pouzzolanes, telles que celles qui résultent de la terre à brique, du schiste, de la houille, du basalte et du grès ferrugineux que nous avons employés, présentent tous les phénomènes suivans :

Les parties en contact immédiat avec l'eau acquièrent, à des époques variables pour chaque pouzzolane, une fermeté plus ou moins grande; bientôt après la couleur en devient de plus en plus foncée; au lieu de continuer à durcir, elles paraissent rétrograder, au point de perdre

quelquefois la consistance qu'elles avaient au moment de l'immersion. Cependant ce dernier cas est assez rare, et n'a lieu que pour les bétons excessivement gras, ou pour ceux qui ne contiennent que du sable.

Il se forme ainsi une espèce d'enveloppe dont l'épaisseur s'accroît sans cesse, et tend à gagner le centre; si on l'enlève avec une lame de fer, en raclant le béton jusqu'au vif, il s'en forme une seconde, et ainsi de suite; les progrès vers le centre deviennent alors plus rapides, sur-tout si la chaux a été éteinte par le procédé ordinaire.

Ces phénomènes, qui sont très remarquables dans les circonstances que nous venons d'indiquer, sont insensibles lorsqu'on fait usage de pouzzolanes énergiques. Ils n'ont lieu dans aucun cas pour les chaux hydrauliques très maigres, et ne sont que faiblement prononcés dans les bétons à chaux hydrauliques moyennes (*voy.* le tableau n° 14) (1).

Une boule de mortier hydraulique de cinq centimètres de diamètre, composée de chaux commune très grasse, de sable et ciment de brique en doses égales, s'est réduite à 0,01 de diamètre au bout de deux années d'immersion : l'enveloppe a été raclée plusieurs fois.

On conçoit toute l'importance de cette observation pour la durée des ouvrages exposés au battelage et aux frottements d'un courant ou d'une eau agitée. Une colonne de béton de trois mètres de diamètre pourrait, dans le cas le plus défavorable, disparaître entièrement au bout de cent ans.

Tous ces faits s'expliquent facilement par l'examen des parties détériorées; on y retrouve dans toute leur intégrité les matières dont on s'est servi, la chaux exceptée : l'eau a donc dissous ce qui manque; d'où il suit qu'elle peut décomposer en partie les bétons à chaux communes, mêlées avec les pouzzolanes de médiocre qualité.

Ajoutons à cela, qu'avec le sable ordinaire seul les chaux communes

---

(1) Cependant, lorsqu'on tient à connaître d'une manière précise la dureté d'une masse de béton quelconque, il faut toujours l'attaquer à quelques centimètres au-dessous de sa surface; car ce n'est jamais à la croûte qu'est la plus grande résistance.

font à peine prise dans l'eau, encore faut-il pour cela qu'elles aient été éteintes à l'air, sans quoi le mortier resterait toujours mou, tandis que les chaux hydrauliques, naturelles ou factices, donnent de très bon béton, et semblent même, lorsqu'elles sont douées d'une grande énergie, préférer, comme nous l'avons dit, le sable à la pouzzolane. Elles ont, d'ailleurs, la faculté de durcir seules dans l'eau; ce qui permet de tenir les mortiers un peu gras, et par conséquent de les étendre, de les massiver, de les remanier, en quelque sorte, après les avoir immergés, sans avoir à craindre pour leur solidification future; ce qu'on ne saurait attendre des bétons gras à chaux communes.

Par toutes ces raisons, les chaux hydrauliques seront toujours précieuses dans une foule de circonstances; mais il se présentera des cas où les chaux communes pourront être employées avec économie et avantage; par exemple, dans toutes les fondations qui ont lieu au moyen des épuisements, il sera convenable de les faire servir à la fabrication du béton destiné aux parties intérieures où l'eau ne saurait parvenir, si ces parties sont bien enveloppées par un revêtement de briques ou de pierres posées et rejointoyées avec mortier à chaux hydraulique.

Nous terminerons cet article par quelques observations sur l'état des bétons que l'eau a commencé à décomposer. L'action dissolvante de ce fluide paraît s'arrêter lorsqu'elle a fait disparaître un excès de chaux qui était en faible combinaison, et peut-être même tout-à-fait libre dans le composé. Nous avons cru remarquer, d'après divers essais, que la quantité qui reste ne s'éloigne guère des proportions que nous avons reconnues les meilleures; d'où résulterait cette règle singulière, que « pour trouver, dans tous les cas possibles, les proportions de chaux commune qui conviennent à telle ou telle pouzzolane, il faut en composer une boule de béton, plutôt gras que « maigre, d'environ $0^m,02$ de diamètre; l'exposer pendant un an sous « une eau pure, renouvelée fréquemment; chercher ensuite, par « l'analyse ou autrement, la quantité de chaux qui aura disparu, la « retrancher de la totalité de celle qu'on aura employée; et la diffé-

« rence donnera, relativement à la dose de pouzzolane, les propor-
« tions cherchées. »

Ceci n'implique point contradiction avec ce que nous avons dit de la détérioration qui se manifeste à la suite de la soustraction de la chaux; on conçoit que les bétons n'éprouvant aucune contraction, leur compacité doit se trouver considérablement diminuée; ce qui doit, en effet, leur ôter une partie de leur dureté, et même les en priver tout-à-fait dans certains cas; par exemple, lorsqu'ils sont très gras, lorsque la chaux a peu d'affinité pour la substance avec laquelle elle est mêlée; ce qui permet à l'eau d'en dissoudre la plus grande partie.

Il doit aussi arriver, par la même raison, que l'action de l'eau doit être impuissante sur les bétons qui n'ont que juste la chaux qui leur convient; aussi avons-nous remarqué que plus on s'approche des proportions exactes, moins cette action est sensible. Nous excepterons cependant les bétons à chaux communes et sables quartzeux seuls; nous croyons que l'eau peut les décomposer dans toutes les proportions possibles.

Il faut, au reste, de nouvelles expériences pour établir ces derniers faits d'une manière bien solide (1).

---

(1) M. Sage a remarqué que l'eau dissolvait une partie de la chaux des mortiers hydrauliques; mais il n'a tiré de cette remarque que des conséquences directement opposées à ce que l'expérience nous a démontré. Ce chimiste s'exprime ainsi : « Les bétons ou mortiers qui acquièrent de la solidité dans l'eau me « paraissent la devoir à la soustraction d'une partie de chaux; ce que j'ai reconnu « en mettant dans des vases remplis d'eau pure des briques de mortier. Je remar- « quai, au bout de deux ou trois jours, la surface de cette eau couverte d'une « pellicule de crême de chaux. Je renouvelai l'eau à dix reprises, pendant un « mois, jusqu'à ce que je ne visse plus de pellicules. Les briques de ce ciment, loin « d'avoir perdu, m'ont paru avoir acquis de la solidité. »

CHAPITRE VI.

Influence du Temps.

Il nous reste à parler du temps qu'emploient les divers bétons pour passer de la consistance pâteuse qu'ils ont au moment de leur immersion, à ce premier degré de fermeté relative qui constitue ce qu'on appelle *la prise*, et à examiner ensuite comment ils se comportent pendant les deux ou trois premières années.

La première condition pour que tous les bétons en général fassent promptement corps sous l'eau, c'est d'être gâchés fermes autant que possible, sans cesser cependant d'être ductiles. Une pâte trop molle prend lentement et reste toujours faible; une pâte trop dure s'abreuve, se divise et s'étend; ce qui est pis encore. Nous ne connaissons point de précepte plus mal entendu que celui qui prescrit de laisser les bétons acquérir à l'air une demi-fermeté avant que de procéder à leur immersion; mieux vaudrait les employer un peu mous.

Le béton fait avec la chaux vive, mêlée en poudre avec la pouzzolane et éteinte ensuite dans le mélange, par aspersion, durcit très promptement sous l'eau, s'il est enveloppé de toutes parts de manière à ne pouvoir se dilater; mais s'il est libre, et c'est le cas ordinaire, il se gonfle et s'étend, parceque la chaux achève de se développer au moyen de l'eau qu'elle pompe avec force; ce qui produit un très mauvais effet. Ainsi nous devons conclure qu'il vaut beaucoup mieux éteindre la chaux quelques jours à l'avance, que de l'employer sur-le-champ quand elle est encore chaude. Du reste, la première prise dépend autant du procédé d'extinction qu'on a suivi, que des qualités des matières employées. Nos tableaux offrent, sous ce rapport, une grande diversité de résultats; plusieurs même sont contradictoires; ce qui

tient à certaines causes que nous allons indiquer pour l'instruction de ceux qui seraient tentés de répéter les expériences.

Quelques efforts que l'on fasse, pour donner à la pâte des bétons que l'on veut comparer, une même consistance, il est extrêmement difficile de réussir en toute rigueur, parcequ'on est obligé d'employer, selon le procédé d'extinction et la nature de la chaux et de la pouzzolane, des quantités d'eau différentes; or il en faut infiniment peu, soit en excès, soit en moins, pour retarder ou accélérer la prise de quelques jours.

Nous n'avons pu faire d'ailleurs toutes nos expériences dans la même saison; de sorte que certains bétons ont été immergés sur la fin de l'hiver, et d'autres dans les grandes chaleurs de l'été; ce qui a dû influer sensiblement sur les premiers progrès de leur solidification. Nous avons en effet eu occasion de remarquer depuis, que des mortiers placés sous une eau chaude (à 40^d du thermomètre de Réaumur) sont parvenus en quelques heures à porter la tige d'épreuve; ce que leurs correspondants, placés sous une eau courante à 7^d, n'ont pu faire qu'au bout de plusieurs jours.

Malgré ces causes d'erreurs, on remarque les faits suivants, qu'il n'est guère possible de contester:

1° L'excès de chaux dans le béton en retarde la prise; les proportions les plus favorables à cette prise sont aussi celles qui donnent la plus grande dureté.

2° Les pouzzolanes énergiques, combinées avec les chaux communes, font corps plus vite qu'avec les chaux hydrauliques, et celles-ci reprennent l'avantage avec les pouzzolanes médiocres.

3° Le second et le troisième procédé d'extinction paraissent généralement plus propres à accélérer la prise que le premier.

Les tableaux n°s 6, 7, 8, 9, 10 et 11 présentent, relativement à l'âge des bétons, diverses résistances qui, considérées dans leur ensemble ou par les résultats moyens qu'elles fournissent, donnent lieu à quelques observations intéressantes. Les deux tableaux ci-après, qui sont, en quelque façon, les résumés des premiers, contiennent

en rapports très simples les expressions moyennes de ces résistances (1).
Le n° *A* nous fait voir :

1° Que les bétons à chaux communes font plus de progrès de la seconde à la troisième année, que de la première à la seconde; tellement, qu'on peut dire que la vitesse de ces progrès est accélérée.

2° Que la résistance des bétons à chaux hydrauliques moyennes, aux mêmes époques, annonce aussi une accélération, mais beaucoup moins grande que dans le cas précédent.

3° Qu'enfin les progrès des bétons à chaux éminemment hydrauliques commencent à se ralentir à la fin de la seconde année.

Il résulte évidemment de ces observations, que les bétons à chaux communes emploient plus de temps que les autres pour atteindre le *maximum* de leur résistance. Quoiqu'il nous soit impossible d'assigner exactement ce temps qui, d'ailleurs, doit varier par une foule de circonstances, nous avons de fortes raisons de penser qu'il n'est pas aussi long qu'on l'a prétendu jusqu'à ce jour, et qu'il ne s'étend pas au-delà de dix années. Il n'en doit pas être ainsi pour les simples combinaisons de la chaux commune et du sable ordinaire seul : nous avons trouvé dans des fondations, sous un terrain très humide, des mortiers de vingt-cinq à trente ans encore frais (2).

Le tableau n° *B* nous apprend une autre chose très importante; savoir, que le temps modifie, mais ne renverse pas les rapports de résistance qui dérivent de la comparaison des trois procédés d'extinc-

(1) Nous avons, en quelque sorte, isolé les rapports dans ces deux tableaux, afin de les rendre plus simples, et sur-tout afin d'éviter une comparaison de chaux à chaux, laquelle, pour être rigoureuse, exigerait qu'on eût fait de part et d'autre un même nombre d'expériences, et avec les mêmes matières; ce qui n'a pas toujours eu lieu. Les résultats contradictoires ne sont point entrés comme éléments dans la formation des rapports moyens dont il s'agit.

(2) Ces mortiers étaient composés de chaux n° 13 et de sable de rivière très pur. Nous en avons trouvé d'autres, au contraire, composés avec la même chaux et un sable fossile jaune, qui avoient acquis en vingt ans une assez grande dureté.

tion, c'est-à-dire, que l'ordre de prééminence observé à la fin de la première année est encore le même à la fin de la troisième : en sera-t-il toujours ainsi? C'est ce que nous ne pouvons affirmer, quoique cela soit extrêmement probable.

Tableau n° A.

INDICATIONS.	RÉSISTANCES RELATIVES MOYENNES de divers bétons âgés		
	d'un an.	de deux ans.	de trois ans.
Bétons à chaux commune maigre... N° 15.	1,00	1,35	4,20
Idem à chaux comm. très grasse... N° 13.	1,00	1,42	2,95
Idem à chaux commune grasse... N° 11.	1,00	1,57	3,58
Idem à chaux hydraul. moyenne.. N° 8.	1,00	1,28	1,94
Idem à chaux hydraul. très maigre. N° 4.	1,00	1,48	1,53
Idem à chaux hydraul. très maigre. N° 2.	1,00	1,17	1,24

Tableau n° B.

Nota. La lettre O désigne le procédé ordinaire d'extinction, et la lettre I le second procédé.	RELATION *entre les résistances relatives moyennes des bétons dont la chaux a été éteinte par le premier procédé, et celles des bétons pour lesquels on a employé l'immersion.*					
INDICATIONS.	BÉTONS AGÉS DE					
	un an.		deux ans.		trois ans.	
	O	I	O	I	O	I
Bétons à chaux commune maigre, N° 15.	1,00	1,82	1,00	2,12	1,00	1,54
Bétons à chaux commune très grasse, N° 13.	1,00	2,13	1,00	2,40	1,00	1,95
Bétons à chaux commune grasse, N° 11.	1,00	1,89	1,00	1,89	1,00	1,87
Bétons à chaux hydraul. moyenne, N° 8.	1,00	1,69	1,00	1,47	1,00	1,81
Bétons à chaux hydraulique très maigre, N° 4.	1,00	0,74	1,00	0,67	1,00	0,72

SECTION TROISIÈME.

CHAPITRE PREMIER.

Des Mortiers ordinaires.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Le simple mélange de la chaux et du sable forme le mortier ordinaire, qu'on appelle quelquefois mortier blanc (1). S'il présente moins de variétés que le mortier hydraulique sous le rapport des ingrédients, il se trouve en revanche soumis à une foule de vicissitudes dont celui-ci n'a jamais rien à redouter. En effet, enveloppé tantôt dans l'argile, tantôt dans le terreau ou le sable; en contact avec des eaux imprégnées de sels, de gaz ou d'acides, etc.; exposé aux alternatives de la pluie, du soleil et de la gelée, ce n'est guère que dans certaines parties de l'intérieur des édifices qu'il se trouve dans un état de siccité permanent; tandis que le mortier hydraulique, toujours plongé dans le même fluide, n'a que de légères variations de température à subir.

Or, on ne peut douter que la place qu'occupe le mortier dans une construction, n'influe d'une manière très prononcée sur le degré de dureté qu'il acquiert. Cette circonstance rend illusoires la plupart des expériences qui ont été faites jusqu'à ce jour; et si l'on tient à ne point faire de contre-sens sur cette matière, il faut se garder de généraliser les résultats auxquels sont parvenus quelques constructeurs

---

(1) Par opposition aux mortiers colorés par la présence des pouzzolanes.

modernes. En admettant comme exacts les faits sur lesquels la plupart d'entre eux se fondent, il ne faut regarder ces faits que comme des cas particuliers; par exemple, M. Rondelet a trouvé que trois parties de sable de rivière et deux parties de chaux de Marly en pâte, donnent un meilleur mortier que deux parties du même sable contre une seule partie de la même chaux, mesurée en poudre obtenue par immersion. Nous conviendrons de ce fait; mais nous nous garderons bien d'en conclure, avec l'auteur, que le procédé ordinaire l'emporte sur le procédé Lafaye. Une telle conclusion n'aurait pas encore toute l'exactitude convenable, quand même M. Rondelet aurait varié ses expériences en soumettant une partie de ses briques de mortiers à l'influence continue d'une terre humide, l'autre aux intempéries de l'atmosphère, etc.; car cet architecte aurait dû, pour prononcer avec équité, tenir les mortiers des deux espèces également gras; ou, mieux encore, chercher, par une série d'expériences, en variant les proportions par degrés très rapprochés, le *maximum* de résistance du mortier ordinaire dans différents cas, le *maximum* de résistance du mortier Lafaye dans les mêmes circonstances, et comparer ensuite. C'est en effet le procédé d'extinction seul qui constitue la méthode de M. de Lafaye, et non la stricte observation des proportions que cet auteur a mal-à-propos voulu prescrire.

Nous ne pouvons guère nous dispenser d'examiner les diverses hypothèses par lesquelles on a cherché à expliquer la solidification des mortiers ordinaires : cet examen est une introduction nécessaire, qui jettera un grand jour sur tout ce que nous aurons à dire dans la suite.

Voici comment s'exprime, à ce sujet, M. Faujas de Saint-Fond : « L'eau qui tient les molécules de la chaux en macération pendant « long-temps, s'empare de tout l'air fixe (gaz acide carbonique) « qui s'y trouve concentré; elle acquiert alors le pouvoir de fondre, « de remanier la terre absorbante, de la lier, de la joindre au « quartz. Et comme l'évaporation du liquide ne se fait que d'une « manière insensible et lente, ou plutôt qu'une partie du liquide lui-

« même se combine avec la matière pour former l'eau de cristallisation, « cette opération se trouve d'autant plus parfaite, qu'elle est plus « longue et plus élaborée (1). »

Cette explication suppose une cristallisation dont il est difficile de prouver l'existence : quand on examine la chaux dans la cassure d'un fragment de bon mortier tiré des fondations d'un édifice, on croit en effet reconnaître des particules brillantes, comparables aux éléments d'une cristallisation confuse ; mais quelques jours d'exposition au grand air suffisent pour faire disparaître cet aspect cristallin, auquel succède la teinte ordinaire blanche et matte de la chaux; cette illusion tient donc à une très petite quantité d'eau non combinée, que l'évaporation fait bientôt disparaître. On sait que si l'on verse peu-à-peu de l'acide carbonique liquide dans de l'eau de chaux, la liqueur se trouble d'abord, et s'éclaircit bientôt après; il se forme, en effet, un carbonate qu'un excès d'acide dissout; l'ébullition ou l'évaporation lente fait reparaître le précipité. Mais comment concevoir un effet analogue dans le mortier, dont la consistance est pâteuse, où il ne reste d'acide carbonique que celui que le feu n'a pu dégager entièrement de la pierre à chaux; tandis qu'il en faudrait un excès, c'est-à-dire, beaucoup plus que n'en contenait la pierre à chaux avant la cuisson? Si l'hypothèse de M. Faujas était vraie, les chaux régénérées des mortiers de fondation donneraient, par l'analyse, autant d'acide carbonique que les pierres calcaires dont elles proviennent. Or M. Darcet n'a trouvé, dans le carbonate de chaux du vieux mortier, que la moitié de l'acide qui entre dans le carbonate ordinaire, encore est-il possible qu'il aît opéré sur du mortier exposé à l'air.

Quelques chimistes ont pensé que l'acide carbonique contenu dans l'air, se fixait peu-à-peu dans le mortier et concourait ainsi à sa solidification. Nous avons vu un exemple remarquable de l'action de cet acide sur les hydrates de chaux; il pénètre le mortier de la même

(1) Ouvrage cité.

manière, et avec moins de difficulté, à raison des interstices que le sable détermine; mais son influence ne s'étend pas très loin; il n'atteint jamais le centre des murailles épaisses, sur-tout si elles sont recouvertes d'enduits lissés à la truelle, et ne sauroit parvenir jusqu'aux mortiers des fondations.

D'autres ont considéré la chaux comme une simple gangue, et le sable comme un corps étranger, destiné seulement à augmenter le volume du composé. Voici comment on trouve cette idée développée dans le Mémoire de Loriot. « Dès que les deux chaux (la chaux « vive en poudre et la chaux en pâte) se saisissent et s'étreignent si « fortement qu'elles ne font plus qu'un corps solide, l'on conçoit « qu'elles peuvent aussi embrasser et contenir d'autres substances que « l'on y introduira, les serrer, et faire corps avec elles, selon la conve- « nance plus ou moins grande de leurs surfaces et de leur contexture, « et par-là augmenter le volume de la masse que l'on veut employer. »

Guyton, sans se prononcer ouvertement, a semblé approuver cette explication, par la manière dont il a étudié et développé le procédé Loriot (1).

Descotils laisse croire que la chaux ne peut agir d'une manière intime sur la silice, qu'autant que ces matières ont préalablement subi ensemble l'action du feu. La conséquence naturelle de cette idée mène au système Loriot (2).

Si la chaux n'était qu'une gangue, sans action chimique sur les grains siliceux qu'elle enveloppe, il est clair qu'elle prendrait corps sous l'eau toute seule aussi facilement qu'avec le sable. De plus, l'introduction du sable serait, dans tous les cas possibles, plus nuisible qu'utile à la solidité; car l'expérience démontre que lorsqu'il n'y a pas d'affinité entre la gangue et les corps enchâssés (tableau n° 15), l'agrégé présente une résistance d'autant plus grande, que ces corps y entrent

---

(1) Mémoire sur les mortiers et les chaux maigres. (Ouvrage cité.)

(2) Note sur la chaux maigre. (*Journal des Mines*, n° 202, page 308.)

en moindre quantité ; tellement, que le *maximum* de force a lieu quand la gangue se trouve seule. Or ceci n'arrive que pour les chaux communes, très grasses, comme nous le verrons plus tard.

« Lors de la combinaison de la chaux et du sâble, dit M. Sage, il « s'opère une double décomposition, dans laquelle la chaux ne déve- « loppe son caustique que par le concours d'un alcali fixe, qui paroît « produit par la décomposition d'une partie du sable, qui fournit « en outre à la chaux la matière qui la régénère en pierre calcaire, « tandis qu'une partie de l'acide caustique de la chaux se combine avec « la silice. »

Tous les chimistes avaient reconnu, même avant la décomposition de la chaux, que le principe de sa causticité, admis par Meyer sous le nom de *causticum*, *acidum pingue*, comme résultant de la combinaison du feu et d'un acide, n'était qu'une explication ingénieuse dénuée de tout fondement.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces théories; nous ferons remarquer seulement que la grande divergence des opinions sur les moyens de favoriser la solidification du mortier, tient à la différence de ces mêmes théories. On concevra facilement, d'après l'exposition succincte que nous venons d'en faire, pourquoi les uns prescrivent de laisser le mortier se sécher lentement, en le tenant à couvert et en l'arrosant de temps en temps, tandis que d'autres recommandent de le préserver de la pluie et de toute humidité: pourquoi ceux-ci attendent tout du temps, tandis que ceux-là cherchent à accélérer la dessication, soit en employant la chaux bouillante, soit en ajoutant de la chaux vive à la chaux éteinte, etc. Tels sont les résultats des systèmes; ils conduisent aux pratiques les plus opposées; et s'il arrive, par hasard, que l'on rencontre juste, il est rare que l'application se fasse sans contre-sens ou à propos.

On ne peut disconvenir des difficultés que présente un pareil sujet, lorsqu'au lieu de multiplier et de varier les expériences, on commence par raisonner sur un ou deux faits isolés. Il est vrai de dire aussi que de bonnes expériences ne sont pas sans difficultés; cela tient à cer-

taines causes qui échappent souvent à la plus grande sagacité, et quelquefois se présentent comme d'elles-mêmes. Une des plus remarquables tient à la petitesse des pièces de mortier d'essai que l'on fabrique, à l'influence bien prononcée de l'acide carbonique contenu dans l'air, et à l'inégalité de ses progrès.

Soit, en effet (fig. 2, pl. III), *a b c d*, une section pratiquée sur un cube ou sur un prisme quadrangulaire âgé de dix-huit à vingt mois; soit *d c* la face sur laquelle le solide a été posé pendant la totalité ou la plus grande partie du temps qui s'est écoulé depuis sa fabrication jusqu'au moment de l'expérience; *m n o p* représentera la figure et la position du noyau dans lequel la chaux n'est point régénérée par l'acide. D'après cela, si l'on casse un des prismes en prenant *d c* pour axe de rupture, un autre en prenant *a b*, on sera évidemment conduit à de faux résultats. Il en sera de même, si, en se servant de la machine à écraser, on pose un cube tantôt sur *d c*, tantôt sur *b c* ou *a d*. Cette chance d'erreurs, si facile à éviter quand on est averti, ne peut l'être que par le plus grand des hasards quand on ne l'est pas.

Ce serait une autre erreur, due à la même cause, que de comparer les résistances de diverses pièces de mortier du même âge, mais de figures et de dimensions inégales, en cherchant à rendre les résultats comparables par le calcul. Comme la somme des parties régénérées n'est point proportionnelle dans chaque solide au volume total, et que d'ailleurs les progrès de cette régénération varient avec la disposition et la forme des surfaces, on arriverait nécessairement à de fausses conséquences.

Indépendamment de l'égalité des pièces, et de la manière de les disposer pour les rompre, il faut encore observer que toutes les autres circonstances soient semblables, si l'on tient à faire une comparaison rigoureuse. Car si une pièce tirée du même mortier a été déposée sur de la pierre, l'autre sur du bois; si l'une a été placée dans un courant d'air, l'autre dans un endroit fermé, elles n'offriront ni la même résistance, ni la même pesanteur spécifique, quoique du même âge, quoique composées des mêmes éléments et tirées de la même pâte.

Il en sera de même, si tout étant semblable d'ailleurs, on a lissé légèrement, soit avec la main, soit avec une truelle, les faces de l'une et non celles de l'autre (fig. 3, pl. III).

A l'appui de ces observations, nous citerons un fait dont chacun peut s'assurer, c'est l'inégale dureté du mortier dans la même muraille, dans la même assise, suivant qu'il est en contact avec un fragment de brique, une pierre compacte ou spongieuse; qu'il a été jeté vigoureusement à la truelle, massivé sous la pierre, ou posé doucement, etc.

La plupart de ces anomalies, qui dépendent de l'influence de l'air ou du voisinage de certains corps, etc., seraient moins sensibles si l'on faisait servir aux expériences des pièces d'un grand volume. Mais, avec beaucoup d'attention, on parvient à en tenir compte ou à les éluder dans les expériences ordinaires.

Quand on compare les résistances des mortiers qui remplissent des fonctions différentes dans une construction, il faut avoir égard au changement de lieu et d'état qu'on leur fait subir pour les soumettre aux épreuves. Les mortiers, et quelques corps pierreux qui peuvent s'imbiber d'une certaine quantité d'eau, perdent de $^1/_5$ à $^2/_5$ de leur force lorsqu'on les mouille; la brique de première cuite, dont nous avons trouvé la résistance de 5436 lorsqu'elle est sèche, ne donne plus que 3349 après avoir été plongée une demi-heure dans l'eau. La pierre poreuse de Calviac donne, dans les mêmes circonstances, d'abord 8499 et ensuite 6990. Réciproquement, la force des corps de nature pierreuse, qui passent de l'état humide à l'état sec par leur exposition à l'air, augmente de $^1/_5$ à $^2/_5$ (1); d'où il suit que les mortiers enfouis, ou que l'on tire des fondations d'un édifice pour les comparer à d'autres, doivent être éprouvés sur-le-champ, si l'on veut connaitre

(1) Il est extrêmement probable que le décroissement de résistance des corps spongieux, varie avec la quantité d'eau dont ils peuvent se charger; de sorte qu'il ne faut pas regarder $^1/_5$ et $^2/_5$ comme des limites; il en est d'ailleurs qui peuvent perdre toute leur consistance, tels sont les pisés, les briques crues, etc.

la vraie résistance dont ils sont capables dans le lieu même qu'ils occupaient. Nous ferons remarquer, à propos de ces observations, que si l'on avait à déterminer, par le calcul, les dimensions à donner à des soutiens ou piliers en matériaux spongieux et dont les bases seraient sujettes à être mouillées, il faudrait avoir égard au décroissement accidentel de résistance dont nous venons de parler.

Il peut encore se présenter une autre cause d'erreur assez singulière, et moins facile à prévoir que celles dont nous venons de faire l'énumération. La voici : imaginons deux prismes quadrangulaires *A* et *B*, à sections égales à celle qui est représentée par la fig. 2 (pl. III), et soit le rapport des parties régénérées par l'acide carbonique de l'air à celles qui ne le sont pas dans l'un et dans l'autre, comme 1 est à 3; il peut se faire que par suite, soit du procédé d'extinction, soit des proportions, etc., la résistance absolue des parties régénérées soit plus grande, et qu'au contraire celle des parties non régénérées soit plus petite dans le prisme *A* que dans le prisme *B*. D'où il peut résulter une compensation telle que la résistance totale absolue de *A* soit plus grande que celle de *B*; ce qui n'aurait plus lieu si les dimensions des prismes étant beaucoup plus grandes qu'elles ne le sont, le rapport de 1 à 3 se changeait en celui de 1 à 100, par exemple. En dépouillant les deux prismes de leur enveloppe avant que de les rompre, on saura facilement à quoi s'en tenir.

CHAPITRE II.

Des fonctions du Sable éminemment siliceux, dans les Mortiers ordinaires exposés à l'action de l'air.

Les constructeurs ne sont point d'accord sur les qualités comparées du sable fossile, du sable de rivière et du sable de mer. M. Rondelet, est, après Vitruve, l'auteur auquel nous devons le plus de détails sur

ce sujet; nous répéterons, avec L. B. Alberti qu'il cite, que « ce n'est « pas le lieu d'où l'on tire le sable qui doit être une preuve de sa bonté, « mais la qualité des matières dont il est composé. » Or comme la qualité est très souvent indépendante de la couleur, nous ne prononcerons point d'une manière exclusive, comme l'a fait M. Rondelet, que, dans les sables de même genre, ce sont ceux dont la couleur est la plus foncée qu'il faut préférer, excepté les jaunes. On trouve, en effet, dans le département du Lot (à Souillac), quelques veines d'un sable fossile jaune qui équivaut presqu'au ciment; tandis qu'à Grenoble, les sables de l'Isère ou du Drac, qui sont noirâtres, donnent un très mauvais mortier, comparé à celui qu'on obtient par-tout ailleurs avec de la chaux à peu près la même, et du sable de rivière beaucoup moins foncé.

Nous n'avons employé dans nos expériences qu'une seule espèce de sable, celui de la Dordogne, où le quartz domine, et qui contient d'ailleurs du mica, du feld-spath, du schorl et du basalte. Nous ne l'avons étudié que relativement aux divers degrés de grosseur qu'il présente, selon la direction fortuite des courants qui le déposent. Nous renvoyons donc ceux qui désireraient de plus amples détails à l'ouvrage même de M. Rondelet.

Si l'on compare, à l'aide des tableaux n° 2 et 18, les résistances que présentaient au bout d'un an (1) divers mortiers et divers composés de chaux seule, on sera conduit à deux conclusions fort remarquables.

La première, que les chaux qui forment, par le seul concours de l'eau, les corps les plus solides, sont celles d'où résultent au contraire les mortiers les plus faibles.

La seconde, que le sable quartzeux ne contribue pas, comme on l'a

---

(1) Parmi les mortiers sur lesquels on peut faire cette comparaison, il s'en trouve qui sont âgés de vingt mois; mais cette circonstance fortifie nos conclusions, au lieu de les détruire.

cru jusqu'à ce jour, à augmenter la force de cohésion dont toute espèce de chaux indistinctement est susceptible; mais qu'il est utile à quelques unes, nuisible à d'autres, et qu'il en existe parmi les espèces intermédiaires à la solidité desquelles sa présence n'ajoute ni n'ôte rien.

Ces phénomènes paraissent devoir s'expliquer par les observations suivantes :

1° Les chaux hydrauliques, mêlées avec le sable quartzeux, forment sous l'eau des corps plus durs que lorsqu'elles y sont employées seules : donc elles exercent une action chimique sur les grains siliceux qu'elles enveloppent, et y adhèrent plus fortement que leurs propres parties n'adhèrent entre elles.

2° Les chaux communes grasses, mêlées avec le sable quartzeux, ne durcissent pas sous l'eau, et peuvent même rester plusieurs années sous un terrain humide sans prendre de consistance : donc elles n'ont qu'une faible action sur les grains siliceux qu'elles enveloppent, et y adhèrent moins fortement que leurs propres parties n'adhèrent entre elles (1).

3° Les chaux moyennes, qui forment le passage des chaux hydrauliques aux chaux communes très grasses, doivent nécessairement avoir des propriétés moyennes, c'est-à-dire qu'elles doivent adhérer aux particules siliceuses, à-peu-près de la même manière que leurs propres parties adhèrent entre elles.

A l'appui de la seconde de ces observations, comparons les mortiers à chaux grasse, aux agrégés dont il est question dans le tableau n° 15, et prenons pour exemple lés proportions d'une partie de gangue contre une partie et demie de sable. Nous trouverons les rapports suivants :

---

(1) Il est probable cependant qu'après un temps très long, et à l'aide d'une humidité constante, les affinités finissent par se manifester. On trouve fréquemment d'assez bon mortier à chaux grasse dans les fondations de vieux édifices de quatre à cinq cents ans d'âge.

Pour le plâtre (gangue non susceptible de retrait), la résistance de la gangue est à celle du composé de plâtre et de sable, comme.	1,00	:	0,58
Pour l'argile (gangue susceptible de retrait), la résistance de la gangue est à celle d'un composé d'argile et de sable, comme.	1,00	:	0,21
Pour la chaux n° 14, éteinte par immersion (1) (gangue peu susceptible de retrait), la résistance de la gangue est à celle du mortier, comme. . .	1,00	:	0,24
Pour la chaux n° 14, éteinte par le procédé ordinaire (gangue susceptible de retrait), la résistance de la gangue est à celle du mortier, comme. . .	1,00	:	0,25

La ressemblance de ces rapports paraît indiquer que la chaux commune grasse, se comporte avec le sable quartzeux (dans les deux circonstances spécifiées) comme le plâtre et l'argile, c'est-à-dire, qu'elle se borne à-peu-près, selon la théorie et les expressions de Loriot, « à embrasser et contenir les corps qu'on y introduit, selon la conve-« nance plus ou moins grande de leurs surfaces, etc....... » Et dans ce cas, le moyen imaginé par cet architecte pour donner de la compacité et de la force à la gangue, est sans doute très convenable mais ne conduit pas à de grands résultats. Il faut donc désespérer d'obtenir jamais, avec la chaux commune grasse éteinte sur-tout par le procédé ordinaire, et avec les sables éminemment siliceux, des mortiers capables d'acquérir à l'air une grande dureté. Il est également impossible d'en tirer parti sans sable; car si elle contracte seule par la dessication une force de cohésion considérable, ce n'est qu'autant (sect. 1re, chap. V) qu'elle reste isolée et comprise sous un petit volume. En l'employant en guise de mortier, au contraire, elle se détacherait du moëllon, et se briserait en milliers de fragments. La présence du sable élude, en quelque sorte, la contraction totale, en la subdivisant en une infinité

(1) Voyez le tableau n° 18.

de contractions partielles qui s'effectuent séparément dans chaque interstice formé par trois ou quatre grains contigus; d'où résultent cet aspect pulvérulent, cette perméabilité, cette faible résistance que nous déplorons souvent en voyant le mortier de nos édifices ordinaires. On pare à un inconvénient, on tombe dans un autre.

On se demandera peut-être pourquoi l'acide carbonique, qui doit trouver un accès facile dans les mortiers à chaux communes, tels que nous venons de les décrire, ne contribue pas à les rendre beaucoup meilleurs? Nous répondrons à cela que, ne rencontrant que des parcelles de chaux sèches et désunies, cet acide les régénère individuellement, mais ne les lie pas fortement ensemble; il se comporte comme à l'égard d'une poussière de chaux. Dans les murs de cave, au contraire, où le mortier reste long-temps frais, il peut régénérer et lier tout-à-la-fois; mais comme il agit d'abord sur les surfaces, il les tapisse presque toujours, en ferme les interstices, et s'interdit ainsi l'accès des parties intérieures. On voit donc que, par une fatalité remarquable, tout semble s'opposer à la solidification des mortiers ordinaires à chaux communes.

Les chaux hydrauliques se comportent heureusement d'une toute autre manière, et semblent, par un singulier concours d'admirables propriétés, destinées à rendre aux constructions exposées à l'air, de plus grands services encore qu'aux constructions hydrauliques. Les modifications (quelles qu'elles soient d'ailleurs) que l'action du feu détermine dans la faible proportion de silice et d'alumine mêlées à la matière purement calcaire, donnent, au composé qui en résulte, la faculté d'agir chimiquement, par l'intermède de l'eau, sur de nouvelles substances siliceuses à l'état de sable. C'est dans ce fait que le caractère distinctif et essentiel des chaux hydrauliques réside tout entier : ce que Descotils n'a point remarqué.

Cette nécessité de la modification préalable, par la voie sèche, d'une petite quantité de silice et d'alumine avec la chaux, pour que celle-ci puisse ensuite se combiner par la voie humide à une nouvelle quantité de ces mêmes matières, est un phénomène digne d'attention.

Il paraît même que cette double opération produit le meilleur effet possible; car si on fait cuire ensemble égales quantités de chaux commune et d'argile, par exemple, on obtient à la vérité un composé qui n'a plus besoin que d'être réduit en pâte pour donner un assez bon mortier, mais qui n'égale pas en dureté celui qui résulte de l'emploi du sable et d'une bonne chaux hydraulique.

CHAPITRE III.

Influence de la grosseur du Sable éminemment siliceux, sur la résistance des Mortiers ordinaires exposés à l'air.

Si nous nous laissions guider par une analogie trompeuse, nous pourrions, à l'aide du tableau n° 15, essayer de résoudre la question qui fait l'objet de ce chapitre, au moins pour les chaux communes qui, n'ayant qu'une faible action sur le sable, paraîtraient devoir se comporter à très peu près comme l'argile ou le plâtre, selon qu'elles sont éteintes de manière à prendre très peu ou beaucoup de retrait par la dessication. Mais il n'en est pas ainsi; quelque faible que soit l'action dont nous venons de parler, elle suffit pour déranger l'ordre des résistances que l'on observe dans les composés de plâtre ou d'argile.

Nous n'avons employé, dans nos expériences sur l'influence de la grosseur du sable, que de la chaux éteinte par immersion; aussi, n'appliquerons-nous rigoureusement nos conclusions qu'à ce mode particulier d'extinction, quoiqu'il soit extrêmement probable qu'elles conviennent aussi aux autres procédés.

D'après nos résultats, les divers sables se rangent, par rapport à chaque espèce de chaux, dans l'ordre de supériorité suivant (tableau n° 16) :

Pour les chaux éminemment hydrauliques, 1° les sables fins; 2° les

sables à grains inégaux, résultant du mélange soit du gros sable avec le fin, soit de celui-ci avec le gravier; 3° les gros sables;

Pour les chaux qui ne sont que médiocrement hydrauliques, 1° les sables mêlés, 2° les sables fins, 3° les sables gros;

Pour les chaux communes grasses, et très grasses, 1° les gros sables, 2° les sables mêles, 3° les sables fins.

Les plus grandes différences que l'emploi de tel ou tel sable puisse faire naître entre les résistances des mortiers à chaux communes, ne s'élèvent guère au-delà d'un cinquième; mais elles dépassent un tiers pour les mortiers à chaux hydrauliques, c'est-à-dire que si l'on représente par 100 la plus grande résistance dans les deux cas, la plus petite ne s'éloignera guère de 80 dans le premier, et de 60 dans le second.

M. Rondelet dit, dans son Traité de l'art de bâtir, que le mortier fait avec le sable trop fin n'acquiert pas autant de consistance que celui qui est fait avec du sable moyennement gros. Il est très probable que cette conclusion est le résultat d'observations faites sur des mortiers à chaux communes.

Soit que le hasard y ait eu part, soit que les Romains aient connu les convenances réciproques des qualités de la chaux et de la grosseur du sable, ils ont employé pour la fabrication de leurs mortiers, à Cahors, un mélange de sable ordinaire et de gravier, tandis qu'ils pouvaient se servir séparément de l'un ou de l'autre. En d'autres endroits de la France, à Vienne, par exemple, où la chaux est médiocre (1), ils n'ont employé que du gravier. On a trouvé en Syrie (2)

---

(1) Il est certain que la chaux dont les Romains se sont servis à Vienne, est une chaux commune; les mortiers, ceux des égouts sur-tout, sont très faibles.

(2) M. Monge, en visitant les ruines de Césarée, a trouvé des moulures et des ornements imprimés en creux dans des masses de mortier appartenant à des contreforts qui soutenaient les restes d'un temple consacré à Auguste. Les reliefs étaient rongés, mais le mortier faisait saillie. Vainement M. Monge essaya d'en casser un morceau: ce mortier était composé d'un sable très fin et d'une petite quantité de chaux bien mêlés.

des exemples de mortiers antiques romains très durs, et composés avec un sable très fin. L'aspect grisâtre de la chaux dont on s'est servi ne permet guère de douter qu'elle ne soit éminemment hydraulique.

Toutes ces observations fortifient nos conclusions. La plus saine théorie indique d'ailleurs que plus le quartz est divisé, et mieux il doit se lier avec les chaux éminemment hydrauliques, sur lesquelles il exerce une grande action. On ne peut en dire autant des chaux communes. Cependant si, comme quelques faits semblent l'indiquer, après un temps très long et à l'aide d'une humidité constante, ces espèces de chaux se modifient de manière à agir enfin chimiquement sur le quartz, il est évident qu'elles se trouvent alors dans le cas des chaux hydrauliques; aussi ne faut-il point oublier que les conclusions de ce chapitre ne regardent que les mortiers exposés à l'air, dont la dessication, sans être trop rapide, arrive néanmoins trop tôt pour que le phénomène dont nous venons de parler puisse avoir lieu.

CHAPITRE IV.

Influence de la Dessication selon qu'elle est naturelle, retardée ou accélérée par diverses causes.

On peut retarder la dessication du mortier de plusieurs jours, de plusieurs mois, et même de plusieurs années, en le couvrant ou en l'enveloppant de terre ou de sable, dont les pluies ou l'arrosage entretiennent la fraicheur. On peut accélérer cette dessication par une chaleur artificielle, ou par le contact de matériaux spongieux et absorbants.

Nous distinguerons trois sortes de dessication; savoir, la dessication ordinaire, la dessication lente, et la dessication rapide.

En plein air et à l'ombre, les mortiers sont exposés à la dessication ordinaire; dans les fondations, dans les caves ou dans les parties

basses des édifices, à la dessication lente. Mais dans les parties élevées et exposées au midi, sur-tout quand la maçonnerie est composée de briques ou d'autres matériaux spongieux et absorbants, les mortiers éprouvent une dessication rapide. On conçoit d'ailleurs que la saison dans laquelle on bâtit, et l'état de l'atmosphère, modifient et les causes et les influences.

Les mortiers à chaux hydrauliques qui ont le pouvoir (sect. 1re, chap. Ier) de solidifier toute l'eau qu'ils contiennent, demandent à sécher lentement. Ils peuvent perdre, selon les circonstances, savoir, par la dessication ordinaire, les trois dixièmes, et par la dessication rapide, les huit dixièmes de la force qu'ils auraient acquise par une dessication lente (*Voyez* les circonstances spécifiées dans les tableaux n°s 17 et 23).

Les chaux communes qui, ou ne solidifient pas ou ne solidifient qu'après un grand nombre d'années l'eau qui se trouve en excès dans le mortier, ne paraissent retirer aucun avantage d'une dessication lente, lorsqu'elle n'est ménagée que pendant plusieurs mois, et même pendant une année (1). Le tableau n° 17 semblerait indiquer, au contraire, qu'il en résulte une détérioration. Mais, avec un peu d'attention, on reconnaîtra bientôt qu'elle n'est qu'apparente. En effet, les pièces de mortier exposées à la dessication ordinaire, ont profité pendant vingt-deux mois de l'influence de l'acide carbonique de l'air; les autres ont perdu, sous ce rapport, tout le temps qu'elles ont passé sous terre; mais elles finiront par atteindre un peu plus tard les résistances auxquelles les premières étaient déja parvenues à l'époque des épreuves.

On concevra, d'après cette observation, la nécessité de donner aux mortiers dont on a ralenti la dessication en les couvrant de terre,

---

(1) Nous avons tiré des fondations de plusieurs maisons bâties depuis dix à douze ans, des morceaux de mortier à chaux commune très grasse, encore frais; nous les avons laissé sécher à l'air pendant six mois : leur résistance n'était pas plus grande alors que s'ils eussent seulement été fabriqués depuis six mois.

le temps de recevoir de l'air la même influence que ceux qui y ont été continuellement exposés, soit par rapport à l'état relatif de siccité des uns et des autres, soit par rapport à l'inégalité des progrès de l'acide carbonique, si l'on veut faire des comparaisons justes. Quant aux mortiers à chaux hydrauliques, la petite inexactitude que nous nous reprochons est plutôt favorable que contraire à nos conclusions, comme il est facile de s'en rendre compte.

La dessication rapide est contraire aux chaux communes, aussi bien qu'aux chaux hydrauliques; pour s'en convaincre, il ne faut qu'examiner l'état pulvérulent du mortier qui sert de lit aux assises de briques dans la plupart de ces murailles construites pendant les grandes chaleurs de l'été, et dont les matériaux n'ont point été mouillés avant l'emploi. Tous les maçons sont d'ailleurs d'accord sur ce point.

L'examen des mortiers du quai de Montauban qui, en 1812, céda en s'écroulant à la poussée des terres (1), a offert un exemple curieux de l'influence de la dessication rapide. Les parties supérieures de ce quai avaient été construites avec des briques non trempées, qui burent avidement l'eau du mortier et le portèrent très vite à l'état de siccité; les eaux pluviales, au contraire, tinrent long-temps frais celui des parties basses; aussi observa-t-on que la résistance allait en diminuant de bas en haut, tellement, qu'à partir d'un assez bon mortier, on finissait par arriver à une poussière blanche sans consistance.

L'influence de la dessication lente sur la bonté des mortiers à chaux hydrauliques est connue depuis long-temps en Italie. On fabrique à Alexandrie, en Piémont, des pierres factices auxquelles on donne le nom de *prismes*, parcequ'étant principalement destinées à la construction des angles de murailles et d'avant-becs, etc., elles ont en

---

(1) (Observations communiquées par M. Ginot, ingénieur des ponts et chaussées, chargé de la reconstruction de ce quai.) L'observation rapportée ci-dessus a été faite dans la partie du quai qui se termine au pont de Montauban. Parmi les différentes causes qui occasionnèrent la chute du mur, il faut placer en première ligne sa faible épaisseur.

effet la forme d'un prisme triangulaire. Pour cela, on emploie une excellente chaux hydraulique tirée des environs de Casal; on l'éteint selon le procédé ordinaire; et quand elle a de cinq à six jours de coulée, on la place au centre d'un bassin de sable à grains inégaux, depuis la grosseur du sable ordinaire jusqu'à celle du fort gravier; ce sable est éminemment quartzeux, et contient quelques débris calcaires, On opère ensuite le mélange, auquel on donne beaucoup de soin. On prépare avant l'emploi, une fosse primastique triangulaire, d'une longueur arbitraire, dans un terrain de niveau, et à l'abri des inondations; on en lisse les parois à la truelle avec de l'eau, et on y forme les prismes par couches successives, en introduisant dans le mortier des cailloux d'égale grosseur, régulièrement distribués. On recouvre ensuite les prismes avec la terre même provenant de la fouille, de façon qu'il y ait toujours par-dessus une épaisseur de trente centimètres; les proportions sont, pour un mètre cube, 0,14 de chaux en pâte, 0,90 de sable inégal, et 0,20 de cailloux.

On donne aux prismes $1^m,40$ de longueur, sur $0^m,80$ de côté. Ils restent ordinairement enfouis pendant trois années; mais deux suffisent lorsque la chaux est de première qualité; après quoi on les retire pour en faire usage. Ils peuvent alors résister sous de grandes charges : nous en avons vu précipiter les uns sur les autres de six à sept mètres de hauteur; ils s'écornaient, mais ne se rompaient pas.

Il n'est pas toujours possible de maintenir le mortier des maçonneries, dans l'espèce de macération qui convient à l'acte de la solidification; mais il faut au moins en ménager la dessication, autant qu'on le peut, par degrés insensibles. Nous avons trouvé que des prismes quadrangulaires de mortier à chaux hydraulique, de $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur, donnent à très peu près les mêmes résultats, qu'on les laisse sous une terre fraiche pendant six mois seulement ou pendant un an, pourvu qu'on ne les expose ensuite que graduellement au contact de l'air.

Nous avons laissé dans l'eau pendant un an une pièce de mortier, composé de sable ordinaire et de chaux commune éteinte spontanément

(nous prouverons plus loin que l'extinction spontanée peut donner aux chaux communes quelques qualités hydrauliques), mais enveloppée de béton pour empêcher le contact immédiat du fluide; après quoi nous l'avons retirée et dépouillée de son enveloppe, pour la placer sur le sol humide d'une cave, et ensuite peu à peu sur des plans plus élevés. Au bout de quelques mois, les parties extérieures de cette brique paraissant très dures, nous la fîmes passer assez brusquement de la cave au grenier pour accélérer un peu le terme de la dessication; et quelque temps après, elle fut soumise à l'expérience. Au moment de la rupture, la partie détachée se divisa en deux morceaux, dont l'un sortit de l'autre, à-peu-près comme le jaune de l'œuf sort du blanc lorsqu'il est bien cuit. L'enveloppe était dure, mais le noyau s'écrasait facilement sous les doigts. Nous exposâmes de nouveau la pièce dans laquelle la séparation n'avait point eu lieu, à l'action de l'air, comptant bien qu'au bout de quelques mois le noyau et l'enveloppe ne présenteraient aucune différence : mais il n'en fut pas ainsi; le noyau ne parvint jamais à égaler l'enveloppe en dureté; la différence était, et a toujours été telle, qu'il existe une solution de continuité bien prononcée entre ces deux parties. Ainsi, l'acte de la solidification chimique a été interrompu brusquement par le passage d'un air frais et humide à un air sec et chaud. Ce fait était trop intéressant pour que nous nous en tinssions à une seule expérience; celles que nous avons répétées postérieurement ont toutes présenté le même phénomène.

CHAPITRE V.

Influence du procédé d'extinction, sur la résistance des Mortiers ordinaires.

Nous avons dit, en parlant des mortiers hydrauliques, que la manière d'éteindre la chaux pouvait, dans certains cas, sextupler leur résistance. Cette influence de l'extinction n'est point, à beaucoup près, aussi prononcée dans les mortiers ordinaires que dans les premiers; on parvient cependant quelquefois, en appliquant avec discernement tel ou tel procédé à telle ou telle nature de chaux, à doubler la résistance qu'on aurait obtenue par le procédé contraire; ce qui vaut bien la peine de faire quelques essais.

Les résultats de nos expériences sur l'influence de l'extinction, sont exposés dans les tableaux n° 18, 19, 20 et 21. Un rapide examen fera sur-le-champ reconnaître les mêmes lois que nous avons observées déjà à l'égard des mortiers hydrauliques, c'est-à-dire que les trois procédés, rangés par ordre de prééminence, sont, pour les chaux communes grasses ou moyennes, ainsi que pour les chaux hydrauliques faibles, 1° l'extinction spontanée, 2° l'extinction par immersion, 3° l'extinction ordinaire; et pour les chaux éminemment hydrauliques, 1° l'extinction ordinaire, 2° l'extinction par immersion, 3° l'extinction spontanée.

L'exception présentée par la chaux n° 2 *bis*, si elle n'est point anomalistique, semblerait apporter quelques restrictions à cette dernière conclusion; mais, au reste, si l'on n'a point le temps de lever tous les doutes par quelques essais, on peut appliquer aux chaux éminemment hydrauliques, soit le premier soit le deuxième procédé d'extinction sans conséquence bien importante, puisque les différences moyennes qui peuvent en résulter ne vont qu'à cinq ou six centièmes.

Il n'en serait pas de même pour les autres espèces de chaux ; aussi n'avons-nous trouvé, dans le cours de nos expériences, aucune exception à opposer à la généralité des autres résultats.

On remarquera que les rapports des résistances dues à chaque procédé ne sont point constants pour les mêmes mortiers, mais qu'ils dépendent des influences locales; c'est ainsi, par exemple, que les effets de l'extinction spontanée, sont moyennement à ceux de l'extinction ordinaire, comme 248 est à 100, pour des mortiers à chaux n° 11, placés sous terre et âgés de vingt mois; comme 200 est à 100, pour les mêmes mortiers, placés à couvert et à l'abri des vents; et enfin comme 141 est à 100, quand ils sont exposés à toutes les intempéries.

La théorie des effets de l'extinction est la même pour les mortiers ordinaires que pour les bétons ; c'est toujours le foisonnement qui joue le principal rôle, avec cette différence que, sous l'eau, la chaux éteinte par le premier procédé reste, pour ainsi dire, *in statu quo*, pendant que celle qui a été éteinte par immersion ou spontanément tend à se développer et à comprimer le béton. Dans le cas actuel, au contraire, c'est la première qui rétrograde, devient poreuse, friable, en perdant par la dessication la plus grande partie d'une eau surabondante qu'elle ne peut solidifier (on parle des chaux communes), pendant que l'autre n'en abandonne pas à beaucoup près autant, et conserve par conséquent une certaine compacité (1).

Ce que nous avons dit de l'intimité de la combinaison, comparée à l'effet purement physique du foisonnement de la chaux, peut également se dire dans le cas actuel.

Mais ces observations n'expliquent pas la supériorité de l'extinction spontanée sur l'extinction par immersion pour les chaux communes.

---

(1) Il ne faut point perdre de vue qu'il s'agit ici de mortier, et non de chaux seule; car la chaux seule peut prendre librement du retrait, et rester par conséquent très compacte quoiqu'en abandonnant beaucoup d'eau, comme on le fait voir dans la première section.

Cette supériorité tient à des faits singuliers, que personne, que nous sachions, n'avait remarqués avant nous: c'est qu'une longue exposition à l'air, dans un lieu couvert et fermé au vent seulement, donne à ces espèces de chaux, à celles qui sont très grasses sur-tout, des propriétés hydrauliques bien prononcées. Nous ne connaissons pas encore les limites du temps nécessaire à chaque chaux pour acquérir le *maximum* d'amélioration dont elle est susceptible; mais nous savons qu'après une année d'exposition, les chaux n° 14 et 11 ont donné de bien meilleurs résultats que lorsqu'on les a employées immédiatement après leur réduction complète en poudre, ainsi que le prouvent les huit expériences ci-dessous.

INDICATIONS ET NUMÉRO DES EXPÉRIENCES.		COMPOSITION DES BÉTONS.				RÉSISTANCES relatives DES BÉTONS âgés d'un an.
		Chaux éteinte à l'air et, mesurée en pâte, employée		Sable ordinaire.	Ciment de brique.	
		quelques jours après sa réduction.	un an après sa réduction.			
A chaux commune moyenne, n° 11.	1.	2,00	» »	1,00	1,00	693
	2.	2,00	» »	» »	2,00	907
	3.	» »	2,00	1,00	1,00	949
	4.	» »	2,00	» »	2,00	1384
A chaux commune moyenne, n° 14.	1.	1,33	» »	1,00	1,00	591
	2.	1,33	» »	» »	2,00	907
	3.	» »	1,33	1,00	1,00	826
	4.	» »	1,33	» »	2,00	2366

Ces faits, à l'évidence desquels il est impossible de se refuser, démontrent qu'il y a quelque chose d'inexact dans l'explication qu'on a donnée jusqu'à présent de l'impropriété des chaux éteintes à l'air, en disant qu'elles repassent promptement à l'état de carbonate.

Toute notre théorie serait évidemment en défaut, si l'on obligeait

les chaux hydrauliques à se comporter comme les chaux communes, c'est-à-dire, à contribuer beaucoup plus à la solidité du mortier par des effets physiques que par des effets chimiques; et cela pourrait arriver, si, par une dessication rapide, on faisait disparaître en peu de temps du mortier, l'eau sans laquelle le sable et la chaux ne sauraient réagir l'un sur l'autre.

Nous terminerons ce chapitre par l'examen de quelques modifications apportées depuis peu à l'extinction par immersion. M. Rondelet a proposé de réduire d'abord la chaux en poudre, comme l'indique M. de Lafaye, et de la placer sur-le-champ dans un bassin pour achever de la détremper à la manière ordinaire. Il résulte de cette méthode, que la chaux foisonne un peu plus que si on l'employait en poudre après l'avoir laissée se refroidir, mais moins que si on la réduisait immédiatement en bouillie comme à l'ordinaire. Elle est donc dans un état moyen d'extinction, et doit avoir par conséquent des propriétés moyennes, c'est-à-dire, que si elle est éminemment hydraulique, par exemple, ce procédé mixte lui convient mieux que le procédé de Lafaye, et moins que le procédé ordinaire, *et vice versa*, si elle est commune, grasse ou moyenne, ou même faiblement hydraulique.

M. Fleuret emploie l'immersion, mais couvre la chaux de façon que la vapeur aqueuse, à laquelle il attribue des vertus imaginaires, ne puisse se dégager. Il arrive alors que cette vapeur est reprise en grande partie par la chaux, qui reçoit par-là un degré de développement de plus. Comme on fabrique le mortier un quart d'heure après, et que les matières sont encore chaudes, le développement s'accroît toujours, tellement, qu'en dernier résultat, il est presque aussi grand que si on eût employé le procédé ordinaire; aussi n'est-il point surprenant qu'avec la chaux de Metz, qui est éminemment hydraulique, M. Fleuret obtienne de meilleures pierres factices que s'il employait purement et simplement le procédé Lafaye, dont le caractère essentiel est de donner à la chaux le moindre développement possible, en la faisant passer par l'état de poudre froide avant que de l'employer à la fabrication du mortier.

CHAPITRE VI.

Influence des Proportions sur la résistance des Mortiers ordinaires.

En présentant nos expériences sur l'influence des proportions, nous prévenons, comme nous l'avons fait pour les mortiers hydrauliques, que l'on doit bien se garder d'en tirer des conclusions générales, parce-que nous sommes bien convaincus que chaque espèce de chaux présente, sous ce rapport, des phénomènes qui lui sont propres. Notre but principal est de donner une idée des difficultés attachées à ces sortes d'expériences, lorsqu'on se borne à en faire un petit nombre, et que l'on se place sur-tout dans des circonstances particulières.

Commençons par le tableau n° 19, qui contient les mortiers enfouis. Ces mortiers, au bout de vingt mois, avoient fait prise, mais ils n'étaient point durs; aussi a-t-il fallu user de beaucoup de précautions pour les soumettre aux épreuves, et substituer à la caisse de bois une caisse de carton.

La première série appartient au procédé ordinaire d'extinction; elle donne des résistances qui vont en décroissant continuellement, depuis le mortier le plus gras jusqu'au mortier le plus maigre. Cette loi est la même que celle qui règle les résistances des gangues terreuses ou autres, qui enveloppent les corps, sans exercer sur eux aucune affinité chimique.

Les résistances des mortiers de la seconde et de la troisième série, qui appartiennent à l'extinction par immersion et à l'extinction spontanée, étaient un peu plus que doubles de celles des mortiers de la première; aussi suivent-elles déja une marche différente, car elles croissent jusqu'au n° 23, et paraissent décroître au-delà.

Passons aux mortiers du tableau n° 20, qui ont été pendant vingt mois placés sur des planches dans un grenier.

La première série semble, à quelques anomalies près, se comporter comme celle du tableau précédent. Si l'on n'admet point d'anomalies,

on peut dire que les résistances croissent jusqu'au n° 5, et décroissent jusqu'à la fin.

La seconde et troisième série présentent encore une marche d'abord progressive, et ensuite rétrograde. Les points *maxima* sont pour l'une au n° 9, et pour l'autre au n° 12.

Examinons enfin les mortiers qui ont été exposés à toutes les intempéries; les résistances des trois séries croissent, à très peu près, de la même manière, et décroissent ensuite; les points *maxima* sont situés du n° 18 au n° 20.

Les mortiers du tableau n° 19 avaient fait trop peu de progrès pour qu'il soit possible de préjuger leur état futur d'après leur état actuel; mais si l'on admet que les expériences des tableaux n° 20 et 21 ne sont affectées d'aucune anomalie, il faudra évidemment en conclure que les proportions doivent varier, non-seulement avec le procédé d'extinction, mais aussi selon l'usage que l'on se propose de faire du mortier.

Ainsi, par exemple, pour une muraille qui serait constamment couverte, et à l'abri de l'humidité et des vents, on aurait (en se servant de la chaux n° 11) à choisir dans les trois cas suivants:

	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES relatives correspond.
	Chaux en pâte.	Sable ordinaire.	
1° En employant de la chaux en pâte obtenue par l'extinction ordinaire.	1,00	0,90	1506
2° En employant de la chaux obtenue en poudre par l'immersion, et réduite en pâte.	1,00	1,30	1896
3° En employant de la chaux éteinte spontanément, et réduite en pâte.	1,00	1,90	2193
Pour une muraille exposée à toutes les intempéries, il faudrait modifier ces proportions comme il suit:			
1° En employant de la chaux en pâte obtenue par l'extinction ordinaire.	1,00	2,40	1510
2° En employant de la chaux obtenue en poudre par immersion, et réduite en pâte.	1,00	2,20	2400
3° En employant de la chaux éteinte spontanément, et réduite en pâte.	1,00	2,20	2762

Cet exemple particulier donnera une idée de l'insuffisance des préceptes généraux que l'on trouve dans les Traités de construction, et que l'on applique sans discernement. Il fournit d'ailleurs, à l'appui de la théorie que nous avons établie, une conséquence bien remarquable, c'est que la loi des proportions se rapproche d'autant plus de celle que l'expérience a donnée pour les agrégés dus à une simple juxta-position des parties, que les circonstances locales ont apporté de plus grands obstacles à l'influence des affinités.

Ainsi, les moindres quantités de sable conviennent aux mortiers qui, placés dans un grenier, ont séché assez vite et n'ont jamais été mouillés; les plus grandes, à ceux qui, rafraîchis par les rosées des nuits sereines, par des pluies fréquentes, et soumis d'ailleurs au contact sans cesse renouvelé d'un air libre, ont couru un plus grand nombre de chances, soit pour le développement des affinités, soit pour recevoir et fixer de plus grandes quantités d'acide carbonique.

On peut maintenant reconnaître combien est peu fondée l'opinion des architectes, qui ont cru qu'il suffisait d'employer en petites proportions les chaux communes grasses, pour obtenir avec le sable seul les mêmes résultats qu'avec les chaux hydrauliques (1). Que l'on prenne, en effet, les résistances *maxima* dans les deux premières séries du tableau n° 20, et qu'on les compare à celles des mortiers à chaux n° 1, 2, 2 *bis*, 3 et 4 du tableau n° 18 (dont les proportions n'ont pas cependant été étudiées entre des limites assez étendues pour qu'on puisse affirmer que ce sont les plus convenables), on verra que les différences varient de la moitié aux deux tiers; cependant les différences d'âge sont toutes en faveur des mortiers à chaux n° 11.

(1) Rondelet, Art de bâtir, t. 1er.

CHAPITRE VII.

Influence de la Manipulation.

SHAW, voyageur anglais, rapporte que les maçons des côtes de Barbarie brassent leur mortier pendant trois jours et trois nuits sans interruption, et parviennent ainsi à le rendre très bon. M. Rondelet assure aussi que le mortier gagne beaucoup à être corroyé, mais sans préciser jusqu'à quel point. Desirant nous assurer nous-même de l'influence qu'une trituration laborieuse et long-temps soutenue peut exercer, nous avions fait battre dans un mortier de fonte, avec un pilon de fer, pendant quatre jours presque sans interruption, un mélange de deux parties de sable quartzeux et d'une partie de chaux n° 11, mesurée en pâte obtenue par l'extinction ordinaire; mais ce mélange prenant sur la fin une teinte bleuâtre très prononcée, qui provenait du fer détaché du mortier et du pilon par le frottement continuel du sable, nous fîmes recommencer l'opération sur de nouvelles matières dans une auge de bois, avec des pilons de bois, après quoi le mortier fut divisé en plusieurs briques, dont les unes furent placées sous une terre fraîche, les autres en plein air mais à couvert, et les autres enfin exposées à toutes les intempéries. Ces briques, éprouvées au bout de vingt mois, et comparées à celles qui leur correspondent sous le n° d'ordre 16 dans les tableaux n° 19, 20 et 21, ont donné les résultats du tableau n° 22.

Les expériences 3 et 4, 5 et 6 démontrent, par l'incertitude même dans laquelle elles laissent, que cet excès de trituration est à-peu-près en pure perte pour les mortiers exposés à l'air; mais les expériences 1 et 2 sont fort remarquables. En effet, au bout de vingt mois, deux pièces de mortier composées des mêmes éléments, en proportions toutes pareilles, soumises toutes deux à l'influence d'une humidité

constante, ont offert cependant des résistances qui sont dans le rapport de 1000 à 19, par cette seule cause que les mortiers ont été broyés beaucoup plus long-temps d'un côté que de l'autre.

La teinte et le grain du mortier long-temps battu, indiquent qu'une partie du sable a passé à l'état de poudre impalpable, par l'effet des frottements réitérés qu'il a subis. S'ensuivrait-il que l'action des chaux communes sur le quartz peut se manifester en peu de temps, à l'aide d'une humidité constante, lorsque cette substance est réduite à ce degré de ténuité qui constitue l'impalpabilité des poussières? C'est ce que nous n'oserions décider (1). Remarquons toutefois que ce fait, s'il était vrai, ne serait point en contradiction avec les conclusions du chapitre III, section III[e]. Au reste, il serait plus curieux qu'utile d'approfondir cette question; car on concevra sans calcul que les frais de battage l'emporteraient de beaucoup sur ceux qu'il faudrait faire pour obtenir de bien meilleurs résultats, soit par l'emploi des pouzzolanes, soit par la réduction artificielle des chaux communes en chaux hydrauliques.

CHAPITRE VIII.

Influence des Intempéries.

Les vicissitudes ordinaires du temps, dans les saisons dont la température ne descend point au-dessous du terme de la congélation, loin d'être contraires aux mortiers exposés en plein air, en augmentent la dureté, comme le prouvent les expériences du tableau n° 21, toutes les fois que les proportions de la chaux n'excèdent pas certaines limites qui varient avec le procédé d'extinction, et qui sont telles, dans

---

(1) Le basalte, qui entre environ pour un dixième dans le sable de la Dordogne, a peut-être, à raison de cette impalpabilité, influé plus que le quartz.

le cas particulier dont il s'agit ici, qu'elles donnent lieu à des mortiers plutôt maigres que gras. Les murailles, battues depuis plusieurs siècles par les pluies et les vents, comparées aux maçonneries couvertes, ne laissent aucun doute sur la généralité de cette observation (1). Les gelées ordinaires de nos climats semblent même être impuissantes dans certains cas; mais dans d'autres elles exfolient et réduisent tout en poussière.

La contexture particulière des mortiers et des corps pierreux en général, modifie d'une manière singulière les effets que le froid exerce sur eux. Les physiciens ont attribué à la force expansive de la glace la rupture des corps qui tiennent au moment de la gelée une certaine quantité d'eau libre, et les architectes en ont déduit, comme conséquence, que les pierres à grains fins et serrés doivent mieux résister que les pierres poreuses et perméables. L'expérience dément tous les jours cette conclusion; car les grès et une foule de pierres calcaires tellement perméables qu'on peut s'en servir pour filtrer, résistent parfaitement aux plus grands froids, tandis que certaines pierres dures et compactes à cassure vitreuse, tombent en éclats.

On se rend facilement compte de ce qui se passe dans ces diverses circonstances, en considérant que c'est moins la quantité d'eau contenue dans un corps solide, que la disposition qu'elle peut y prendre, qui décide la rupture. Quand elle peut se loger dans ce qu'on nomme des fils, quelque imperceptibles qu'ils soient, elle agit comme coin dans toute leur étendue; mais dans les pierres à tissu poreux ou cellulaire, il ne peut y avoir aucun ensemble dans les efforts de la dilatation; car elle s'effectue séparément dans chaque interstice; et comme tous sont contigus, les efforts se contre-balancent : c'est ainsi que, quelque soit le nombre des voûtes d'un pont, toutes les poussées se

(1) Les personnes qui ont étudié les mortiers des ruines antiques, ont remarqué toujours que les parties exposées à toutes les injures de l'air, valent bien mieux que celles qui sont couvertes.

détruisent l'une par l'autre. Près des surfaces, ces efforts sont encore affaiblis par une légère transsudation qui rejette hors de la pierre une très petite partie de l'excès de volume dû à la dilatation; cela tient à ce que cette dilatation commence à s'effectuer quand l'eau jouit encore de sa fluidité; aussi remarque-t-on que les pierres perméables se couvrent d'une mince enveloppe de glace à la suite d'un froid rigoureux. La théorie précédente s'applique aux pierres à larges pores, aux mortiers maigres, etc.

Quand la transsudation n'est point libre, les surfaces s'effleurissent, et de proche en proche les corps tombent en poussière jusqu'au centre. C'est le cas des mortiers gras, des briques crues, des pisés, etc. Au reste, ces effets sont sans cesse modifiés par le degré de ténacité des corps. Nous avons vu des mortiers gras à chaux hydrauliques résister très bien, pendant que des mortiers à chaux communes, composés dans les mêmes proportions, se brisaient en milliers de fragments.

Ce serait un travail très intéressant et non moins utile, qu'un tableau des proportions de sable qui conviennent à telle ou telle chaux pour donner un mortier capable de résister à un degré déterminé de froid. Nous n'avons fait d'expériences à ce sujet que sur la chaux n° 11.

Nous avons trouvé que le *minimum* de sable ordinaire qui convient à des mortiers fabriqués au printemps pour résister aux gelées de l'hiver suivant (lorsqu'ils sont exposés à toutes les intempéries), est, savoir :

Pour 1,00 de chaux éteinte par le procédé ordinaire, et mesurée en pâte.................................... 2,20

Pour 1,00 de chaux éteinte par immersion, et mesurée en pâte.................................... 1,60

Pour 1,00 de chaux éteinte spontanément, et mesurée en pâte.................................... 2,40

Plus on augmente la dose de sable au-delà de ces proportions, mieux le mortier résiste.

Le degré de grosseur du sable exerce-t-il aussi quelque influence? C'est encore une chose qu'il serait curieux de connaître.

CHARITRE IX.

Influence du Temps.

Si, comme on le fait dire aux maçons, le mortier est encore jeune à trente ans, que penser de celui qui a servi à nos expériences? N'est-il pas probable que toutes nos observations ne sont et ne peuvent être relatives qu'à ce premier âge de vingt à vingt-trois mois qu'avaient nos briques lorsqu'on les a rompues, parceque l'influence des siècles peut modifier ou renverser peut-être entièrement les rapports que nous avons remarqués. Cette opinion tend, sinon à détruire tout-à-fait, du moins à diminuer de beaucoup l'intérêt que notre travail peut inspirer; il nous importe de la combattre.

Nous n'essaierons point de déterminer à quel âge le mortier atteint le *maximum* de résistance dont il est capable: cette question se complique de tant d'incidents, de tant de circonstances dont il est impossible de faire abstraction, qu'elle nous paraît extrêmement difficile à résoudre. S'agit-il, en effet, de mortiers à chaux communes ou à chaux hydrauliques, de murailles épaisses ou minces, avec ou sans enduit, exposées ou non aux intempéries, composées de moellons durs ou spongieux, de pierres calcaires ou siliceuses, de tuf ou de briques, etc? Voilà cependant autant de cas qui peuvent accélérer ou retarder de plusieurs années le terme cherché. Mais si ces difficultés ôtent tout espoir de résoudre le problème, elles ne s'opposent point à la détermination de quelques limites qui suffiront à notre objet.

M. Rondelet a trouvé, en octobre 1787, au moyen de la machine à écraser, que la résistance d'un cube de mortier ordinaire, à chaux commune, âgé de dix-huit mois, était de 2552; et, en répétant la même

épreuve en août 1802, c'est-à-dire un peu plus de quinze ans après, cette même résistance était de 2864. Ainsi, dans un espace de près de seize ans, le mortier dont il s'agit n'a gagné que $\frac{11}{100}$; et comme il est bien certain que les accroissements annuels n'ont pas été de $\frac{11}{1600}$ chacun, mais qu'ils ont dû former les premiers termes d'une série très convergente, il est certain aussi qu'on aurait trouvé à très peu près le même résultat à une époque plus reculée que celle que l'auteur a choisie.

Nous avons comparé nous-même quelques mortiers du moyen âge, et d'autres moins anciens, avec des mortiers de douze à vingt mois (tableau n° 23), fabriqués, les uns et les autres, avec les mêmes chaux; et nous avons trouvé, tantôt en plus, tantô en moins, des différences qui ne tiennent évidemment qu'à l'inégalité des proportions et des sables.

Ces faits prouvent donc que les pièces de mortier d'un petit volume, exposées à l'air, parviennent en fort peu de temps, sinon au dernier degré de résistance dont elles sont capables, du moins à un degré qui en diffère assez peu pour que l'on puisse préjuger avec certitude, par ce qu'elles sont au bout de dix-huit à vingt mois ce qu'elles seront dans la suite.

Cette célérité dépend évidemment de ce que la dessication, quoique ménagée convenablement, est plus avancée au bout de vingt mois, dans une masse de mortier de cinq à six centimètres de diamètre, qu'elle ne peut l'être au bout de dix ans au centre d'une épaisseur de muraille; il en est de même des progrès de l'acide carbonique de l'atmosphère.

CHAPITRE X.

Des Mortiers antiques, comparés aux Mortiers du moyen âge et aux Mortiers modernes.

Nos ancêtres nous ont laissé, dans une foule de monuments, des exemples sans réplique, qui prouvent que, si de leur temps les principes de la bonne architecture n'étaient pas toujours consultés, l'art de fabriquer des mortiers solides n'y perdoit rien. On voyait, il y a peu d'années encore, à Agen, près de la porte du Gravier, les ruines d'un pont que l'on croyait antique, à cause de la dureté des mortiers. Il fallut employer la poudre pour faire disparaître un reste de pile qui gênait la promenade. Ce pont, dont les amis du merveilleux auraient volontiers fait remonter la construction jusqu'aux Pélasges, fut bâti en 1189, en vertu d'une charte de Richard I[er], roi d'Angleterre, alors maître d'Agen et d'une grande partie du midi de la France.

Le mortier du pont de Valentré, bâti à Cahors en 1400, ressemble en tout point, pour les qualités de la chaux, les proportions et la grosseur du sable, à celui d'un théâtre antique dont les ruines subsistent dans la même ville, à cinq ou six cents pas de la rivière. Des épreuves répétées plusieurs fois ont donné, savoir:

Pour la résistance relative du mortier antique, 1839; et pour celle du mortier ancien, 1893. (Tableaux n° 23 et 24.)

On pourrait multiplier ces exemples à l'infini; nos propres expériences sur l'emploi des chaux hydrauliques, naturelles ou factices, prouvent d'ailleurs (tableau n° 25) qu'on peut obtenir en très peu de temps, sans le secours des pouzzolanes, des mortiers au moins égaux en dureté aux meilleurs mortiers romains.

On n'a pas assez distingué, dans les causes de la durée des monuments antiques, ce qui appartient au mortier de ce qui appartient aux

formes, à l'épaisseur des murailles, à l'excellence, à la disposition des matériaux, etc. C'est faire un mauvais raisonnement que de conclure toujours la bonté du mortier de la durée même de l'édifice auquel il appartient; on peut, au contraire, dire avec exactitude, qu'il est certaines constructions qui ont bien plus conservé le mortier que le mortier ne les a conservées, comme, par exemple, l'amphithéâtre de Nismes, le pont du Gard, etc.; et en général, les édifices dont les massifs sont revêtus d'énormes pierres de taille.

Il ne faut pas croire, d'ailleurs, que toutes les constructions romaines aient été traitées avec le même soin que celles dont nous apercevons encore les vestiges; il est au contraire prouvé, par ce que dit Pline (1), que les mauvaises qualités du mortier entraînaient souvent la chute des maisons ordinaires.

Nous ne connoissons, au reste, qu'une manière de raisonner juste sur les mortiers antiques : c'est d'en mesurer les résistances relatives ou absolues, comme nous l'avons fait dans le tableau nº 24 (2). Il résulte de nos expériences, que ces mortiers ne sont pas par-tout également bons, comme on l'a prétendu (3); qu'ainsi le temps n'est point la seule cause de leur dureté. On voit d'ailleurs qu'on ne peut attribuer cette même dureté, d'une manière exclusive, ni à la perfection du mélange, ni à l'emploi de la pouzzolane (4).

Les faits dont nous nous sommes occupé dans le cours de cet ouvrage, nous dispensent d'entrer dans de plus longs détails; ils suffiront

---

(1) *Ruinarum urbis ea maximè causa, quod furto calcis sine ferrumine suo cæmenta componuntur.* Plin., lib. xxxvi.

(2) M. Rondelet a fait le même travail sur quelques mortiers de l'Italie.

(3) « L'excellence des mortiers des anciens Romains n'est due qu'aux précautions « qu'ils prenaient pour le bien faire.... C'est pourquoi, dans tous les pays où ils ont « bâti, leur mortier est également bon. » (Rondelet, Art de bâtir, t. 1er.)

(4) M. Faujas de Saint-Fond attribue à l'usage exclusif de la pouzzolane la solidité des mortiers antiques de l'Italie et de la France. (Ouvrage cité.)

toujours pour résoudre les objections auxquelles cette matière pourrait donner lieu.

En embrassant d'un coup-d'œil les diverses cathégories de mortiers comprises dans nos tableaux, on verra que la distance qui sépare les résistances extrêmes est trop grande pour qu'on puisse faire usage d'une moyenne unique dans les calculs où la ténacité du mortier entre comme donnée. Cette considération nous a déterminé à partager tous les mortiers en trois classes, à chacune desquelles il sera facile d'assimiler, sans erreur notable, l'espèce de mortier qu'on aura à considérer.

La première classe comprend les résistances relatives qui varient de 3000 à 5000, et répondent à une résistance moyenne absolue (1) de $9^k,60$ par centimètre superficiel. A cette classe appartiennent tous les mortiers bien faits (2), à sables quartzeux ordinaires, et chaux éminemment hydrauliques, soit naturelles soit factices.

La seconde classe comprend les résistances relatives qui varient de 2000 à 3000, et répondent à une résistance moyenne absolue de $6^k,00$ par centimètre superficiel.

A cette classe appartiennent tous les mortiers bien faits, à chaux hydrauliques ordinaires, naturelles ou factices, et sables quartzeux.

La troisième classe comprend les résistances relatives qui varient de 1000 à 2000, et répodent à une résistance moyenne absolue de $3^k,60$ par centimètre superficiel.

A cette classe appartiennent tous les mortiers bien faits, à chaux communes, moyennes ou grasses, et sables quartzeux.

On voit, par le tableau n° 24, que les résistances des mortiers antiques les placent presque tous dans la deuxième et la troisième classe.

---

(1) La résistance absolue par centimètre superficiel est celle dont est capable un parellélipipède rectangle de mortier, d'un centimètre de côté, tiré dans le sens de sa longueur. On passe de la résistance relative des tableaux à la résistance absolue, en multipliant celle-là par 0,0024.

(2) Nous entendons par mortiers bien faits, ceux où les proportions et le procédé d'extinction sont appropriés à la nature de la chaux.

Quant aux mélanges de chaux communes noyées et de sables quartzeux, qu'emploient nos maçons, ils formeraient, s'il était possible de les considérer comme mortiers, une quatrième classe, dont la résistance moyenne absolue ne s'élèverait pas au-dela de $1^k,50$ par centimètre superficiel.

Les limites extrêmes des résistances absolues des mortiers bien faits sont donc, à très peu près, $12^k,00$ et $2^k,40$. Celles des pierres à bâtir, en prenant pour dernier degré de l'échelle le basalte d'Auvergne, et pour le premier les pierres calcaires susceptibles d'être layées en parement, sont, dans les mêmes circonstances, $77^k,06$ et $20^k,40$(1). On voit par ce rapprochement, qu'il faut bien se garder de prendre à la lettre ce que disent quelques auteurs, de la possibilité de composer avec de la chaux, des pouzzolanes et du sable, des pierres factices aussi dures que les cailloux.

(1) Il n'est point question ici des pierres crayeuses très tendres, telles que celles que l'on emploie à Paris.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

TEXTE.

SECTION PREMIÈRE.

SECTION DEUXIÈME.

SECTION TROISIÈME.

TABLEAUX.

PLANCHES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

TABLEAUX.

AVERTISSEMENT.

Les nombres qui expriment les duretés relatives, dans les tableaux nº 1 et 2, sont comparables entre eux; ce sont des quantités abstraites, réciproquement proportionnelles aux profondeurs des trous d'un foret.

Les nombres qui expriment les résistances relatives, dans les tableaux nº 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13, sont comparables entre eux; ce sont des quantités abstraites, réciproquement proportionnelles aux carrés des profondeurs des trous faits dans les bétons par une pointe d'acier soumise à une percussion constante.

Les nombres qui expriment les résistances relatives, dans les tableaux nº 2, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 et 25, sont comparables entre eux; ils expriment, en décagrammes, le poids sous lequel se casse un prisme quadrangulaire de 0,04 de base sur 0,025 de hauteur, encastré horizontalement, la distance de l'axe de rupture au point de suspension étant $0^m,03$.

Tableau N° I. **Comparaison** *des diverses espèces de chaux qui ont servi aux expériences.*

Numéros d'ordre.	INDICATIONS.	CARACTÈRES PRINCIPAUX DE LA PIERRE A CHAUX.				CARACTÈRES PRINCIPAUX DE LA CHAUX QUI EN PROVIENT.			QUALITÉ DE LA CHAUX
		Couleur.	Cassure.	Dureté relative.	Pesanteur spécifique.	Couleur avant l'extinction.	Couleur après l'extinction	Quantité d'eau dont peut se saturer un kil. de chaux vive.	
1.	Pierre de Montelimar, dite de Serdeparc.	Gris cendré, coupé de bandes d'un jaune sale.	Irrégulière et terne.	d. 0,263	2,367724	Blanc un peu sale.	Blanc sale	1,18	Très maigre et éminemment hydraulique.
2.	Stalactite ocreuse tirée des environs de Souillac.	Jaune pain d'épice.	Irrégulière et brillantée.	0,175	2,419353	Merde d'oie sèche.	Merde d'oie un peu jaun.	1,45	Très maigre et éminemment hydraulique.
2 *bis*.	Pierre de Viviers en Vivarais.	Blanc sale.	Irrégulière et terne.	0,150	2,540000	Blanc sale.	Blanc sale.	1,55	Très maigre et éminemment hydraulique.
3.	Pierre des environs de Nismes.	Blanc sale.	Irrégulière et brillantée.	1,000	2,500000	Blanc très sale.	Blanc très sale.	1,67	Très maigre et éminemment hydraulique.
4.	Pierre de Labourgade, près de Montauban.	Blanc légèrement sale.	Irrégulière, aspect marneux.	0,096	2,060975	Terreuse, tirant sur la brique crue.	Mastic de vitrier un peu foncé.	1,76	Très maigre et éminemment hydraulique.
5.	Pierre des rochers qui entourent Périgueux.	Blanc sale.	Irrégulière, grenue et terne.	0,092	2,240506	Blanc sale.	Gris bleuâtre.	1,96	Maigre et hydraulique.
6.	Pierre dite de Chouin, tirée des bords du Rhône.	Gris de boue.	Irrégulière, avec points brillants.	1,000	2,651760	Légèrement fauve.	Blanc sale.	2,43	Moyenne et hydraulique.
7.	Pierre de St.-Céré, départ. du Lot.	Café au lait.	Schisteuse et dendritique.	0,770	2,653543	Jaune sale foncé.	Mastic de vitrier foncé.	2,46	Moyenne et hydraulique.
8.	Pierre de Cabessut, à Cahors.	Gris de boue.	Esquilleuse.	0,700	2,573172	Fauve, tirant sur le vert pâle.	Mastic de vitrier.	2,46	Moyenne et hydraulique.
9.	Pierre de St.-Georges, à Cahors.	Gris bleuâtre.	Esquilleuse.	0,597	2,625000	Mastic de vitrier.	Mastic de vitrier.	2,49	Moyenne, médiocrement hydraulique.
10.	Pierre de Rabot, à Grenoble.	Gris noir.	Esquilleuse.	2,000	2,692240	Blanc de lait.	Très blanc.	2,63	Grasse, commune.
11.	Pierre de Souillac, départ. du Lot.	Blanc sale.	Esquilleuse.	1,000	2,653000	Blanc de lait.	Blanc de lait.	2,68	Grasse, commune.
12.	Pierre des environs de Périgueux.	•	•	•	•	Blanc.	Très blanc.	3,13	Très grasse, commune.
13.	Pierre de Loupiac, départ. du Lot.	Blanc.	Irrégulière, à points brillants.	0,154	2,462680	Très blanc.	Très blanc.	3,15	Très grasse, commune.
14.	Pierre de Lanzac, départ. du Lot.	Blanc sale.	Irrégulière, à facettes brillantes.	0,666	2,532900	Très blanc.	Très blanc.	3,57	Eminemment grasse, commune.
15.	Pierre de Calviac-sur-Dordogne.	Jaune fauve.	Grenue.	0,079	1,986206	Gris cendré.	Blanc très sale.	1,44	Très maigre et commune.

Tableau N° II. Comparaison *des duretés et résistances de divers composés, résultant de la combinaison de la chaux et de l'eau.*

INDICATIONS.		Résistances relatives des composés. à l'état d'hydrate sec.	Résistances relatives des composés. âgés d'un an.	Duretés relatives des composés. à l'état d'hydrate sec.	Duretés relatives des composés. âgés d'un an.	Pesanteur spécifique des composés. à l'état d'hydrate sec.	Pesanteur spécifique des composés. âgés d'un an	Pesanteur spécifique des pierres qui ont fourni la chaux.	Duretés relatives des pierres qui ont fourni la chaux.
Chaux très maigre, éminemment hydraulique et colorée. N° 4.	Éteinte par le 1er procédé.	450	1933	d. 0,034	d. 0,054	1,172463	1,212222	2,060975	d. 0,096
	Idem par le 2e.	175	1744	0,029	0,049	1,202358	1,252469		
	Idem par le 3e.	055	1721	0,024	0,025	1,042500	1,153045		
Chaux moyenne, hydraulique et colorée. N° 7.	Éteinte par le 1er procédé.	800	2450	0,048	0,080	1,193452	1,227426	2,653543	0,770
	Idem par le 2e.	450	1520	0,040	0,075	1,157345	1,183200		
	Idem par le 3e.	200	1500	0,036	0,037	1,063741	1,170000		
Chaux moyenne, hydraulique et colorée. N° 8.	Éteinte par le 1er procédé.	900	2622	0,051	0,090	1,183300	1,222222	2,573172	0,700
	Idem par le 2e.	375	1320	0,049	0,110	1,233333	1,275229		
	Idem par le 3e.	135	1800	0,040	0,040	1,096800	1,212245		
Chaux très maigre, éminemment hydraulique et presque blanche. N° 1.	Éteinte par le 1er procédé.	1150	2832	0,067	0,100	1,342000	1,432000	2,367724	0,363
	Idem par le 2e.	460	2200	0,064	0,092	1,253082	1,348501		
	Idem par le 3e.	385	2260	0,042	0,050	1,100000	1,127310		
Chaux très maigre, éminemment hydraulique et presque blanche. N° 3.	Éteinte par le 1er procédé.	1020	2620	0,044	0,110	1,304790	1,462705	2,500000	1,000
	Idem par le 2e.	500	1980	0,041	0,082	1,236178	1,253434		
	Idem par le 3e.	450	1994	0,037	0,070	1,104006	1,122222		
Chaux grasse, commune et très blanche. N° 11.	Éteinte par le 1er procédé.	1035	2800	0,121	0.200	1,554054	1,656250	2,653000	1,000
	Idem par le 2e.	135	1122	0,033	0,050	1,114100	1,145780		
	Idem par le 3e.	306	1542	0.039	0,050	1,029000	1,043165		
Chaux très grasse, commune et très blanche. N° 13.	Éteinte par le 1er procédé.	2745	3800	0,222	0,500	1,611900	2,008466	2,462680	0,154
	Idem par le 2e.	405	3454	0,060	0.170	1,007460	1,354839		
	Idem par le 3e.	1800	3700	0.083	0,250	1,385600	1,410000		
Chaux éminemment grasse commune et très blanche. N° 14.	Éteinte par le 1er procédé.	3690	3634	0,166	0,500	1,493820	2.621380	2,532900	0,666
	Idem par le 2e.	810	2767	0,121	0.160	1,136050	1,500000		
	Idem par le 3e.	3015	4002	0,133	0,200	1,572727	1,654840		

Tableau N° III. **Relation** *entre les résistances de divers composés, exprimées par l'action d'une force morte et par l'action d'une force vive.*

INDICATIONS.	POIDS sous lequel se casse un prisme quadrangulaire de 0,04 de base sur 0,025 de hauteur, encastré horizontalement. La distance de l'axe de rupture au point de suspension étant 0,03.	QUANTITÉ dont s'enfonce dans chaque prisme une pointe d'acier, soumise à une percussion constante.	QUANTITÉ dont la pointe aurait dû s'enfoncer, si les carrés des profondeurs des trous étaient réciproquement proportionnels aux résistances relatives de la première colonne.
	kil. hect.	met.	met.
1° Prisme de plâtre âgé d'un an.	61,20	0,00575	0,00558
2° Prisme de terre ocreuse très fine, préparée depuis un an.	17,00	0,01060	0,01060
3° Brique crue ordinaire âgée de deux ans...............	16,65	0,01150	0,01070
4° Brique de première cuite...	54,36	0,00500	0,00593
5° Prisme de chaux de Souillac âgé d'un an...............	22,26	0,00700	0,00926
6° Prisme de chaux de Calviac âgé d'un an...............	16,13	0,01100	0,01090
7° Mortier à chaux hydraulique et sable granitique âgé de vingt-un mois.............	32,00	0,00760	0,00773
8° Autre mortier à chaux hydraulique et sable granitique âgé de vingt-un mois.......	47,00	0,00550	0,00634
9° Mortier à chaux ordinaire et sable granitique âgé de vingt-un mois..................	16,34	0,00970	0,01081
Moyennes............	29,49	0,00818	0,00865

TABLEAU N° IV.

MORTIERS *hydrauliques fabriqués avec diverses chaux, et comparés relativement au degré de cuisson des pouzzolanes artificielles qui entrent dans leur composition.*

Marques des mortiers à chaux hydraulique. N° 8.	Chaux éteinte par immersion, mesurée en poudre.	Sable granitique.	Ciment de tuileau ordinaire.	Ciment rouge d'argile brune, cuite au degré de la brique ordinaire.	*Idem* cuite à un degré plus élevé.	*Idem* cuite jusqu'à un commencement de vitrification.	Houille scorifiée au feu de forge ordinaire.	*Idem* réduite en masses noires spongieuses à un feu lent.	*Idem* réduite en cendres à un feu lent.	Schiste bleu (ardoise) cuit au degré de la brique ordinaire.	Schiste *idem* cuit jusqu'à fusion boursouflée.	Basalte cuit au degré de la brique.	*Idem* cuit jusqu'à fusion.	Grès ferrugineux cuit au degré de la brique.	*Idem* jusqu'à fusion.	Nombre des jours qui se sont écoulés depuis le moment de l'immersion des mortiers, jusqu'à l'époque où ils ont pu porter sans dépression, une tige aigüe chargée d'un poids constant.	Résistances relatives des mortiers âgés d'un an.	Marques des mortiers à chaux commune grasse. N° 11.	Nombre des jours qui se sont écoulés depuis le moment de l'immersion des mortiers, jusqu'à l'époque où ils ont pu porter sans dépression, une tige aigüe chargée d'un poids constant.	Résistances relatives des mortiers âgés d'un an.	Marques des mortiers à chaux commune très grasse. N° 13.	Nombre des jours qui se sont écoulés depuis le moment de l'immersion des mortiers, jusqu'à l'époque où ils ont pu porter sans dépression, une tige aigüe chargée d'un poids constant.	Résistances relatives des mortiers âgés d'un an.	Marques des mortiers à chaux commune maigre. N° 15.	Nombre des jours qui se sont écoulés depuis le moment de l'immersion des mortiers, jusqu'à l'époque où ils ont pu porter sans dépression, une tige aigüe chargée d'un poids constant.	Résistances relatives des mortiers âgés d'un an.	MOYENNES.
C_1	2,70	1,00		1,00												j. 7,00	693	$_1C$	j. 2,00	757	^1C	j. 17,00	640	C^1	j. 4,00	907	749
C_2	2,70	1,00			1,00											16,00	416	$_2C$	2,60	476	^2C	415,00	197	C^2	32,00	444	383
C_3	2,70	1,00				1,00										43,00	307	$_3C$	2,80	263	^3C	» »	111	C^3	51,00	307	247
H_1	2,70		1,00				1,00									7,00	1384	$_1H$	2,00	640	^1H	52,00	693	H^1	65,00	591	827
H_2	2,70		1,00					1,00								24,00	444	$_2H$	13,00	693	^2H	200,00	118	H^2	12,00	826	520
H_3	2,70		1,00						1,00							1,00	1562	$_3H$	10,00	1000	^3H	3,00	1108	H^3	12,00	907	1144
S_1	2,70	1,00								1,00						12,00	510	$_1S$	25,00	206	^1S	201,00	97	S^1	139,00	368	295
S_2	2,70	1,00									1,00					6,00	1562	$_2S$	41,00	510	^2S	120,00	307	S^2	128,00	757	784
B_1	2,70	1,00										1,00				24,00	826	$_1B$	149,00	390	^1B	» »	27	B^1	108,00	907	537
B_2	2,70	1,00											1,00			28,00	1234	$_2B$	119,00	757	^2B	» »	160	B^2	78,00	1000	788
G_1	2,70	1,00												1,00		29,00	693	$_1G$	89,00	189	^1G	» »	127	G^1	116,00	250	315
G_2	2,70	1,00													1,00	25,00	444	$_2G$	» »	62	^2G	» »	62	G^2	» »	263	208

TABLEAU N° V. **MORTIERS** *hydrauliques comparés relativement à la quantité de chaux qu'ils contiennent.*

Numéros des mortiers.	CHAUX éteinte par immersion et mesurée en poudre. Commune et très grasse. N° 13.	Hydraulique et moyenne. N° 8.	SABLE granitique.	CIMENT de brique.	TEMPS au bout duquel les mortiers sont parvenus à porter sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.	RÉSISTANCES relatives des mortiers, exprimées en nombres après une année d'immersion.
1.	2,70	» »	1,00	1,00	j 19,00	100
2.	2,00	» »	1,00	1,00	16,00	510
3.	1,50	» »	1,00	1,00	18,00	570
4.	1,00	» »	1,00	1,00	8,00	1000
5.	0,50	» »	1,00	1,00	9,00	826
1.	2,70	» »	» »	2,00	8,00	1000
2.	2,00	» »	» »	2,00	8,00	1500
3.	1,50	» »	» »	2,00	7,00	2366
4.	1,00	» »	» »	2,00	6,00	2777
5.	0,50	» »	» »	2,00	6,00	1108
1.	» »	2,70	1,00	1,00	17,00	390
2.	» »	2,00	1,00	1,00	16,00	693
3.	» »	1,50	1,00	1,00	12,00	693
4.	» »	1,00	1,00	1,00	8,00	907
5.	» »	0,50	1,00	1,00	12,00	615
1.	» »	2,70	» »	2,00	12,00	1150
2.	» »	2,00	» »	2,00	12,00	1200
3.	» »	1,50	» »	2,00	10,00	1234
4.	» »	1,00	» »	2,00	8,00	1384
5.	» »	0,50	» »	2,00	10,00	1234

TABLEAU N° VI.

MORTIERS *hydrauliques à chaux commune blanche et très grasse*, *n°* 14, *comparés relativement au procédé d'extinction.*

MORTIERS HYDRAULIQUES à chaux commune, blanche et très grasse.			Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique.	Ciment rouge de tuileaux.	Ciment rouge pâle, d'argile jaune citrin, cuite au degré ordinaire.	Ciment rouge, d'argile brune cuite au degré ordinaire.	Battitures de fer.	Houille scorifiée au feu de forge ordinaire.	TEMPS au bout duquel les mortiers sont parvenus à porter sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.			RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS, exprimées en nombres, après					
éteinte par le procédé ordinaire.	éteinte par immersion.	éteinte à l'air.											une année d'immersion.			dix-huit mois d'immersion.		
										O	I	S	O	I	S	O	I	S
O^a	I^a	S^a	2,00	1,00	1,00					j. 31	j. 101	j. 7	111	416	591	346	444	640
O^b	I^b	S^b	1,33		2,00					9	17	26	368	1000	907	591	1562	1562
O^c	I^c	S^c	2,00	1,00			1,00			16	7	8	250	390	549	476	826	1185
O^d	I^d	S^d	1,33				2,00			4	4	4	826	826	907	1562	1562	1600
O^e	I^e	S^e	1,80	2,00						»	»	52	000	000	53	0000	0000	62

Nota. Les lettres O, I, S, placées comme indicatrices en tête des colonnes, désignent respectivement, l'extinction ordinaire, l'extinction par immersion, et l'extinction spontanée.

Les guillemets à la place des résultats, indiquent que les expériences n'ont point été faites.

Les zéros indiquent que les bétons étoient encore mous, aux époques désignées en tête des colonnes.

Ces observations sont communes à tous les Tableaux.

TABLEAU N° VII.

MORTIERS *hydrauliques à chaux hydraulique colorée et moyenne, n° 8, comparés relativement au procédé d'extinction.*

MORTIERS HYDRAULIQUES à chaux hydraulique colorée et moyenne. éteinte par le procédé ordinaire.	éteinte par immersion.	éteinte à l'air.	Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique.	Ciment rouge de tuileaux.	Ciment rouge pâle, d'argile jaune citrin cuite au degré ordinaire.	Ciment rouge d'argile brune cuite au degré ordinaire.	Batitures de fer.	Houille scorifiée au feu de forge ordinaire.	TEMPS au bout duquel les mortiers sont parvenus à porter sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant. O	I	S	RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS, exprimées en nombres, après une année d'immersion. O	I	S	deux années d'immersion. O	I	S	trois années d'immersion. O	I	S
O_1	I_1	S_1	3,00	1,00		1,00				j. 15	j. 16	j. 15	307	368	757	326	444	1108	591	907	»
O_2	I_2	S_2	2,00		2,00					24	24	31	907	1000	1000	1562	1000	1674	1777	1234	»
O_3	I_3	S_3	3,00		1,00				1,00	39	7	6	206	1384	1450	277	1562	1562	591	2777	»
O_4	I_4	S_4	2,16	1,00	1,00					33	16	22	390	591	826	444	1000	1164	1000	2000	»
O_5	I_5	S_5	2,16	1,00			1,00			2	7	7	549	693	1108	1234	1234	1384	1650	1862	»
O_6	I_6	S_6	1,44				2,00			4	7	8	1777	2777	3305	1777	4000	4000	1777	4938	»
O_7	I_7	S_7	1,50	1,00				1,00		113	103	150	114	226	307	127	277	326	390	400	»
O_8	I_8	S_8	1,50	2,00						65	63	77	111	238	307	173	238	307	346	640	»

TABLEAU N° VIII.

MORTIERS *hydrauliques à chaux commune blanche et grasse, n° 11, comparés relativement au procédé d'extinction.*

MORTIERS hydrauliques à chaux commune blanche et grasse. éteinte par le procédé ordinaire.	éteinte par immersion.	éteinte à l'air.	Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique.	Ciment rouge de tuileaux.	Ciment rouge pâle, d'argile jaune citrin cuite au degré ordinaire.	Ciment rouge d'argile brune cuite au degré ordinaire.	Battitures de fer.	Houille scorifiée au feu de forge ordinaire.	TEMPS au bout duquel les mortiers sont parvenus à porter sans depression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.			RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS, exprimées en nombres, après une année d'immersion.			deux années d'immersion.			trois années d'immersion.		
										O	I	S	O	I	S	O	I	S	O	I	S
1O	1I	1S	3,00	1,00		1,00				j. 14	j. 2	j. 4	292	510	907	444	591	1108	907	1234	»
2O	2I	2S	2,00		2,00					73	7	31	476	826	907	907	1562	1562	2478	4000	»
3O	3I	3S	3,00		1,00				1,00	321	2	12	238	640	826	390	2040	2366	907	2366	»
4O	4I	4S	2,16	1,00	1,00					73	3	37	368	444	693	390	1108	952	1560	2040	»
5O	5I	5S	2,16	1,00			1,00			3	2	3	476	757	826	476	826	1000	757	1816	»
6O	6I	6S	1,44				2,00			2	1	1	826	1777	2040	1562	1777	2366	2725	6031	»
7O	7I	7S	1,50	1,00				1,00		»	»	»	000	000	000	000	000	000	000	000	»
8O	8I	8S	1,35	2,00						»	»	»	000	000	27	33	62	147	000	000	»

Tableau N° IX.

Mortiers *hydrauliques à chaux commune blanche très grasse, n° 13, comparés relativement au procédé d'extinction.*

MORTIERS hydrauliques à chaux commune blanche et très grasse			Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique.	Ciment rouge de tuileaux.	Ciment rouge pâle, d'argile jaune citrin, cuite au degré ordinaire.	Ciment rouge d'argile brune, cuite au degré ordinaire.	Battitures de fer.	Houille scorifiée au feu de forge ordinaire.	TEMPS après lequel les mortiers sont parvenus à porter, sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.			RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS, exprimées en nombres, après								
éteinte par le procédé ordinaire.	éteinte par immersion.	éteinte à l'air.											une année d'immersion.			deux années d'immersion.			trois années d'immersion.		
										O	I	S	O	I	S	O	I	S	O	I	S
¹O	¹I	¹S	4,50	1,00		1,00				j. 18	j. 17	j. 16	80	591	826	127	757	907	226	1234	»
²O	²I	²S	3,00		2,00					26	81	33	510	826	826	826	2366	2644	2777	3305	»
³O	³I	³S	4,50		1,00				1,00	61	52	60	173	693	907	277	826	1234	510	1562	»
⁴O	⁴I	⁴S	2,16	1,00	1,00					331	250	42	100	142	476	142	226	647	310	440	»
⁵O	⁵I	⁵S	2,16	1,00			1,00			5	17	20	326	640	757	326	826	1108	346	2040	»
⁶O	⁶I	⁶S	1,50				2,00			1	1	1	1000	1777	1777	1234	2040	2040	2600	4620	»
⁷O	⁷I	⁷S	1,50	1,00				1,00		»	»	»	000	000	000	000	000	000	000	000	»
⁸O	⁸I	⁸S	2,25	2,00						»	»	»	000	000	27	000	000	62	000	000	»

TABLEAU N° X. **MORTIERS** *hydrauliques à chaux commune très maigre, n° 15, comparés relativement au procédé d'extinction.*

MORTIERS HYDRAULIQUES à chaux commune grise, et très maigre			Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique.	Ciment rouge de tuileaux.	Ciment rouge pâle, d'argile jaune citrin cuite au degré ordinaire.	Ciment rouge d'argile brune cuite au degré ordinaire.	Battitures de fer.	Houille scorifiée au feu de forge ordinaire.	TEMPS après lequel les mortiers sont parvenus à porter, sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.			RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS, exprimées en nombres, après								
éteinte par le procédé ordinaire.	éteinte par immersion.	éteinte à l'air.											une année d'immersion.			deux années d'immersion.			trois années d'immersion.		
										O	I	S	O	I	S	O	I	S	O	I	S
O^1	I^1	S^1	2,99	1,00		1,00				j. 20	j. 3	j. »	263	549	»	510	591	»	826	1108	»
O^2	I^2	S^2	3,22		2,00					52	70	»	693	510	1000	1562	1234	»	4000	1777	»
O^3	I^3	S^3	2,99		1,00				1,00	108	65	»	226	591	»	510	826	»	1384	2500	»
O^4	I^4	S^4	2,40	1,00	1,00					143	37	»	147	510	757	476	549	»	1108	2040	»
O^5	I^5	S^5	2,40	1,00			1,00			8	4	»	549	907	»	693	1384	»	1234	2777	»
O^6	I^6	S^6	3,20				2,00			4	4	»	826	1108	»	907	1108	»	4938	6250	»
O^7	I^7	S^7	3,20	1,00				1,00		»	»	»	000	000	»	000	000	»	000	000	»
O^8	I^8	S^8	3,00	2,00						»	»	»	000	000	»	000	000	»	000	000	»

Tableau N° XI.

Mortiers *hydrauliques à chaux éminemment hydraulique très maigre et colorée, n° 4, comparés relativement au procédé d'extinction.*

Mortiers hydrauliques à chaux hydraulique grise et très maigre		Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique.	Ciment rouge de tuileaux.	Ciment rouge, d'argile brune cuite au degré ordinaire.	Temps après lequel les mortiers sont parvenus à porter, sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.		Résistances relatives des mortiers, exprimées en nombres, après					
éteinte par le procédé ordinaire.	éteinte par immersion.							une année d'immersion.		deux années d'immersion.		trois années d'immersion.	
						O	I	O	I	O	I	O	I
O^a	I^a	1,72	1,00	1,00		j. 6	j. 8	1309	1234	2040	2040	2520	2040
O^b	I^b	1,15		2,00		16	10	1234	907	2777	1234	2777	1352
O^c	I^c	1,72	1,00		1,00	10	6	1562	953	1562	1562	1562	1562
O^d	I^d	1,15			2,00	7	6	1384	1108	2040	1108	2040	1108
O^e	I^e	1,00	2,00			12	11	1108	953	1562	1500	1600	1500
Mortiers *hydrauliques à chaux éminemment hydrauliques blanches, n°* 2 bis *et* 3.													
V^0	V^1	1,00	1,50			»	»	3305	3652				
N^0	N^1	1,00	1,50			»	»	1234	1210				

TABLEAU N° XII. **MORTIERS** *hydrauliques à chaux éminemmment hydraulique, très maigre et colorée, n° 2, comparés relativement aux progrès de la solidification, etc.*

Numéro des mortiers.	Chaux éteinte par immersion, et mesurée en poudre.	Sable granitique.	Ciment de brique.	Ciment rouge d'argile brune, cuite au degré ordinaire.	TEMPS après lequel les mortiers sont parvenus à porter, sans dépression, une tige aiguë chargée d'un poids constant.	RÉSISTANCES RELATIVES des mortiers âgés d'un an.	de deux ans.	de trois ans.
1.	3,00	1,00	1,00		j. 11,00	1562	1777	2366
2.	3,00	1,00		1,00	4,00	2040	2040	2040
3.	3,00		2,00		6,00	1450	1520	1562
4.	3,00			2,00	3,00	1500	1562	1620
5.	2,00	2,00			16,00	1000	1562	1562
6.	3,00	2,00			11,00	1777	2454	2454

TABLEAU N° XIII. **COMPARAISON** *de divers bétons, relativement à l'influence réciproque des qualités de la chaux et de celle des autres ingrédiens.*

INDICATIONS.	RÉSISTANCES RELATIVES DES BÉTONS AGÉS DE DEUX ANS, composés de chaux éteinte par immersion et de			OBSERVATIONS.
	sable granitique seul.	sable et argile ocreuse cuite au degré ordinaire, mêlés par moitié.	argile ocreuse cuite au degré ordinaire, seule.	
Bétons à chaux éminemment hydraulique. N° 2..	2454	2040	1620	Ces résultats sont tirés des Tableaux n° 12, 11, 7, 8 et 9.
Bétons à chaux émimemment hydraulique, N° 4. (Moins énergique que la précédente.)...........	1500	1562	1108	
Bétons à chaux moyennement hydraulique, N° 8..	238	1234	4000	
Bétons à chaux commune grasse, N° 11...........	62	826	1777	
Bétons à chaux commune très grasse, N° 13.......	000	826	2040	

Tableau N° XIV. — **Mortiers** *hydrauliques comparés relativement à la détérioration qu'ils éprouvent à leurs surfaces.*

COMPOSITION DES MORTIERS. Chaux éteinte par						ÉPAISSEURS des parties détériorées de divers mortiers hydrauliques âgés de deux ans,			
le procédé ordinaire.	immersion.	Sable granitique.	Battitures de fer.	Ciment de brique.	Ciment d'argile brune.	à chaux hydraulique très maigre, N° 4.	à chaux hydraulique moyenne, N° 8.	à chaux commune grasse, N° 11.	à chaux commune très grasse, N° 13.
2,00	» »	1,00	1,00	» »	» »	0,000	0,0110	0,0140	0,0180
» »	2,00	1,00	1,00	» »	» »	0,000	0,0090	0,0100	0,0170
2,00	» »	2,00	» »	» »	» »	0,000	0,0090	0,0110	0,0180
» »	2,00	2,00	» »	» »	» »	0,000	0,0060	0,0070	0,0180
2,00	» »	1,00	» »	1,00	» »	0,000	0,0050	0,0060	0,0090
» »	2,00	1,00	» »	1,00	» »	0,000	0,0040	0,0060	0,0085
2,00	» »	» »	» »	2,00	» »	0,000	0,0040	0,0055	0,0070
» »	2,00	» »	» »	2,00	» »	0,000	0,0030	0,0030	0,0060
2,00	» »	1,00	» »	» »	1,00	0,000	0,0015	0,0030	0,0050
» »	2,00	1,00	» »	» »	1,00	0,000	0,0000	0,0025	0,0040
2,00	» »	» »	» »	» »	2,00	0,000	0,0000	0,0015	0,0020
» »	2,00	» »	» »	» »	2,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0015

Tableau N° XV. Comparaison *des résistances de divers composés, relativement aux proportions et à la grosseur des corps introduits dans la matière qui sert de gangue.*

Numéro des briques.	Sable ordinaire.	Gros sable.	Gravier.	Terre argileuse très pure.	Résistances relatives des briques.	Observations.
1.	» »	» »	» »	1,00	1700,00	Les briques 12, 13, 14, 15 et 16 n'ont pas même pu porter la caisse très légère dans laquelle on verse le sable.
2.	1,00	» »	» »	1,16	558,00	
3.	1,00	» »	» »	0,96	425,00	
4.	1,00	» »	» »	0,76	382,00	
5.	1,00	» »	» »	0,56	345,00	
6.	1,00	» »	» »	0,36	265,00	
7.	» »	1,00	» »	1,16	132,00	
8.	» »	1,00	» »	0,96	106,00	
9.	» »	1,00	» »	0,76	093,00	
10.	» »	1,00	» »	0,56	013,28	
11.	» »	1,00	» »	0,36	000,53	
12.	» »	» »	1,00	1,16	000,00	
13.	» »	» »	1,00	0,96	000,00	
14.	» »	» »	1,00	0,76	000,00	
15.	» »	» »	1,00	0,56	000,00	
16.	» »	» »	1,00	0,36	000,00	
				Platre ordinaire.		
1.	» »	» »	» »	1,00	6120,00	
2.	1,50	» »	» »	2,00	3546,00	
3.	1,50	» »	» »	1,00	2491,00	
4.	» »	1,50	» »	2,00	3191,00	
5.	» »	1,50	» »	1,00	1748,00	
6.	» »	» »	1,50	2,00	2608,00	
7.	» »	» »	1,50	1,00	1165,00	

TABLEAU N° XVI. **MORTIERS** *ordinaires comparés relativement à la grosseur du sable employé.*

INDICATIONS.	PROPORTIONS.				RÉSISTANCES RELATIVES.
	Chaux éteinte par immersion, et mesurée en poudre.	Sable granitique de 0,0006 de grosseur moyenne.	Sable granitique de 0,0022 de grosseur moyenne.	Menu gravier granitique.	
Mortiers à chaux N° 4, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de vingt-deux mois.	1,90	1,50	» »	» »	3625
	1,90	» »	1,50	» »	2220
	1,90	0,75	0,75	» »	2347
	1,90	0,75	» »	0,75	2908
Mortiers à chaux N° 8, moyenne et hydraulique, âgés de vingt-deux mois.	1,80	1,50	» »	» »	1786
	1,80	» »	1,50	» »	1744
	1,80	0,75	0,75	» »	2672
	1,80	0,75	» »	0,75	3107
Mortiers à chaux N° 11, grasse et commune, âgés de vingt-deux mois.	1,80	1,50	» »	» »	1322
	1,80	» »	1,50	» »	1438
	1,80	0,75	0,75	» »	1357
	1,80	0,75	» »	0,75	1235
Mortiers à chaux N° 13, très grasse et commune, âgés de vingt-deux mois.	1,80	1,50	» »	» »	1202
	1,80	» »	1,50	» »	1601
	1,80	0,75	0,75	» »	1409
	1,80	0,75	» »	0,75	1553

TABLEAU N° XVII. MORTIERS *ordinaires comparés relativement à l'influence de la dessication.*

INDICATIONS.	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS,	
	Sable granitique ordinaire.	Chaux éteinte par immersion, et mesurée en poudre.	exposés, immédiatement après leur fabrication, dans un grenier dont l'air était à une tempér. moyenne.	placés d'abord sous terre, et ensuite au grand air, progressivement.
Mortiers à chaux N° 4, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de vingt-deux mois.	1,50	1,90	2747	3625
Mortiers à chaux N° 8, moyenne et hydraulique, âgés de vingt-deux mois.	1,50	1,80	1744	1786
Mortiers à chaux N° 11, grasse et commune, âgés de vingt-deux mois.	1,50	1,80	1519	1322
Mortiers à chaux N° 13, très grasse et commune, âgés de vingt-deux mois.	1,50	1,80	1462	1202

TABLEAU N° XVIII. **MORTIERS** *ordinaires comparés relativement à la manière dont la chaux a été éteinte.*

INDICATIONS.	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS			OBSERVATIONS.
	Chaux mesurée en pâte.	Sable granitique de la Dordogne.	à chaux éteinte par le procédé ordinaire	*idem* par immersion.	*idem* par l'action de l'air.	
Mortiers à chaux N° 1, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de douze mois et demi.	1,00	1,50	3704	3559	3154	Tous les mortiers dont il est question dans ce tableau, ont été placés immédiatement après leur fabrication, sous une terre fraiche, ensuite exposés à l'air dans une cave, et enfin dans un grenier. Toutes ces précautions ont été prises afin de ralentir la dessication. Chaque expérience est la moyenne de plusieurs autres.
Mortiers à chaux N° 2, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de douze mois.	1,00	1,50	3970	3379	2924	
Mortiers à chaux N° 2 *bis*, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de douze mois.	1,00	1,50	3422	3115	3000	
Mortiers à chaux N° 3, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de douze mois.	1,00	1,50	3198	3115	2752	
Mortiers à chaux N° 4, très maigre et éminemment hydraulique, âgés de vingt-trois mois.	1,00	1,50	4102	3778	3082	
Mortiers à chaux N° 8, moyenne et hydraulique, âgés de vingt mois.	1,00	1,50	1017	1561	1952	
Mortiers à chaux N° 14, commune et très grasse, âgés de vingt mois.	1.00	1,50	943	1516	1874	
Mortiers à chaux N° 13, commune et très grasse, âgés de vingt mois.	1,00	1,50	530	778	1069	

TABLEAU N° XIX. **MORTIERS** *ordinaires comparés relativement aux proportions et au procédé d'extinction.*

Numéro des mortiers.	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS AGÉS DE VINGT MOIS,			OBSERVATIONS.
	Chaux n° 11, mesurée en pâte.	Sable granitique ordinaire.	à chaux éteinte par le procédé ordinaire.	*idem* par immersion.	*idem* par l'action de l'air.	
1.	1,00	0,50	0080	0093	0104	Les mortiers de ce tableau, ont été placés immédiatement après leur fabrication, sous une terre humide où ils ont séjourné pendant vingt mois.
2.	1,00	0,60	0098	0086	0125	
3.	1,00	0,70	0074	0115	0106	
4.	1,00	0,80	0080	0105	0181	
5.	1,00	0,90	0066	0102	0132	
6.	1,00	1,00	0063	0096	0126	
7.	1,00	1,10	0067	0076	0127	
8.	1,00	1,20	0080	0079	0175	
9.	1,00	1,30	0068	0086	0126	
10.	1,00	1,40	0067	0118	0121	
11.	1,00	1,50	0074	0131	0120	
12.	1,00	1,60	0067	0112	0159	
13.	1,00	1,70	0072	0115	0154	
14.	1,00	1,80	0063	0122	0149	
15.	1,00	1,90	0049	0159	0151	
16.	1,00	2,00	0035	0152	0154	
17.	1,00	2,10	0049	0149	0160	
18.	1,00	2,20	0048	0134	0156	
19.	1,00	2,30	0048	0151	0154	
20.	1,00	2,40	0048	0123	0159	
21.	1,00	2,50	0047	0130	0156	
22.	1,00	2,60	0046	0202	0223	
23.	1,00	2,70	0040	0202	0230	
24.	1,00	2,80	0034	0132	0180	
25.	1,00	2,90	0039	0080	0123	

IV.

De l'aqueduc du Gard.					
N° 1. Tiré du revêtement de l'aqueduc.	Gangue blanchâtre composée de chaux seule.	Fragme[illegible] et rouge, noix.		1	1291
N° 1 *bis*. *Idem*.				1 *bis*	3483
De Vienne.					
N° 1. Tiré d'une maison antique. Revêtement.	Gangue rougeâtre, composée de chaux et de brique rouge en poudre impalpable.	Fragme[illegible] de la gros[illegible]	mélangés.	1	1615
N° 2. *Idem* pavé.				2	2352
N° 3. Enduit.				3	3013
De Sarlat.					
N° 1. Tiré d'un aqueduc romain.	Gangue rougeâtre, composée de chaux et de brique rouge, en poudre impalpable.	Fragme[illegible] de la gros[illegible]	mélangé.	1	1613

TABLEAU N° XXV. **COMPARAISON** *de quelques mortiers blancs à chaux hydrauliques factices, relativement à la nature de la chaux naturelle employée et à la quantité d'argile qu'on y a introduite.*

Numéro des mortiers.	COMPOSITION DE LA CHAUX FACTICE.		COMPOSITION DU MORTIER.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS âgés d'un an.	OBSERVATIONS.
	Chaux n° 14, mesurée en poudre obtenue par l'extinction spontanée.	Argile brune ferrugineuse pure, mesurée en poudre	Chaux factice éteinte par immersion et mesurée en poudre.	Sable ordinaire.		
1.	1,00	0,50	1,00	1,00	1792	Il est sous-entendu que les mélanges d'argile et de chaux naturelle, ont été soumis à la cuisson.
2.	1,00	0,30	1,00	1,00	2136	
3.	1,00	0,20	1,00	1,00	4809	
4.	1,00	0,10	1,00	1,00	1250	
5.	1,00	0,05	0,80	1,00	786	
	Chaux n° 14.	Argile brune ferrugineuse mêlée de sable.				
6.	1,00	0,20	1,00	1,00	1276	
7.	1,00	0,10	1,00	1,00	2036	
8.	1,00	0,05	1,00	1,00	1429	
		Argile grise peu ferrugineuse.				
9.	1,00	0,25	1,00	1,00	2900	
10.	1,00	0,15	1,00	1,00	2758	
	Chaux n° 11.	Argile brune ferrugineuse mêlée de sable.				
11.	1,00	0,15	1,00	1,00	3065	

Tableau N° XX. Mortiers *ordinaires comparés relativement aux proportions et au procédé d'extinction.*

Numéro des mortiers.	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS AGÉS DE VINGT MOIS,			OBSERVATIONS.
	Chaux n° 11, mesurée en pâte.	Sable granitique ordinaire.	à chaux éteinte par le procédé ordinaire.	*idem* éteinte par immersion.	*idem* éteinte à l'air.	
1.	1,00	0,50	974	935	1940	Les mortiers de ce tableau, ont été placés immédiatement après leur fabrication, sur des planches dans un lieu couvert, et suffisamment fermé pour empêcher l'action des vents mais non la circulation de l'air.
2.	1.00	0,60	1279	1264	2229	
3.	1,00	0,70	1200	1330	1889	
4.	1,00	0,80	1400	1280	2293	
5.	1,00	0,90	1506	1450	1606	
6.	1,00	1,00	1273	1295	1656	
7.	1,00	1,10	1192	1528	2079	
8.	1,00	1,20	1096	1793	1886	
9.	1,00	1,30	1041	1896	1950	
10.	1,00	1,40	1044	1450	2000	
11.	1,00	1,50	1113	1562	1942	
12.	1,00	1,60	1112	1245	2259	
13.	1,00	1,70	1012	1328	2024	
14.	1,00	1,80	1000	1128	1829	
15.	1,00	1,90	1091	1049	2193	
16.	1,00	2,00	1050	1043	1956	
17.	1,00	2,10	1046	1150	1582	
18.	1,00	2,20	1078	1096	1565	
19.	1,00	2,30	1039	1109	1623	
20.	1,00	2.40	1084	1287	1500	
21.	1,00	2,50	900	995	1340	
22.	1,00	2,60	926	900	1232	
23.	1,00	2,70	945	1050	1346	
24.	1,00	2,80	850	997	1210	
25.	1,00	2,90	926	1000	1203	

TABLEAU N° XXI. **MORTIERS** *ordinaires comparés relativement aux proportions et au procédé d'extinction.*

Numéro des mortiers	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS AGÉS DE VINGT MOIS,			OBSERVATIONS.
	Chaux n° 11, mesurée en pâte.	Sable granitique ordinaire.	à chaux éteinte par le procédé ordinaire.	*idem* par immersion.	*idem* éteinte à l'air.	
1.	1,00	0,50	1276	1010	1223	Les mortiers de ce tableau, ont été placés sur un toit immédiatement après leur fabrication, et exposés ainsi à toutes les intempéries.
2.	1,00	0,60	1126	1136	1230	
3.	1,00	0,70	1027	989	1140	
4.	1,00	0,80	1180	1176	1252	
5.	1,00	0,90	1252	1265	1323	
6.	1,00	1,00	1127	1420	1350	
7.	1,00	1,10	1062	1370	1234	
8.	1,00	1,20	1140	1640	1432	
9.	1,00	1,30	1220	1700	1500	
10.	1,00	1,40	1230	1950	1722	
11.	1,00	1,50	1180	1850	1700	
12.	1,00	1,60	1233	1982	1850	
13.	1,00	1,70	1300	2010	1920	
14.	1,00	1,80	1284	2200	2000	
15.	1,00	1,90	1328	2387	2434	
16.	1,00	2,00	1450	2270	2340	
17.	1,00	2,10	1410	2380	2400	
18.	1,00	2,20	1500	2420	2762	
19.	1,00	2,30	1502	2156	2352	
20.	1,00	2,40	1510	2200	2090	
21.	1,00	2,50	1475	1963	2134	
22.	1,00	2,60	1360	2000	2052	
23.	1,00	2,70	1200	2050	2000	
24.	1,00	2,80	1220	1872	1982	
25.	1,00	2,90	1350	1650	1750	

TABLEAU N° XXII.

MORTIERS *ordinaires à chaux n° 11, comparés relativement à l'influence du degré de trituration.*

NUMÉRO des PIÈCES.	PROPORTIONS.		RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS AGÉS DE VINGT MOIS,					
			PLACÉS SOUS TERRE,		PLACÉS A L'AIR ET A COUVERT,		EXPOSÉS A TOUTES LES INTEMPÉR.	
	Chaux n° 11, éteinte à la manière ordinaire et mesurée en pâte.	Sable granitique ordinaire.	bien corroyés à la manière ordinaire.	corroyés avec pilon pendant quatre jours.	bien corroyés à la manière ordinaire.	corroyés avec pilon pendant quatre jours.	bien corroyés à la manière ordinaire.	corroyés avec pilon pendant quatre jours.
1 et 2.	1,00	2,00	0035	1846				
3 et 4.	1,00	2,00			1050	1326		
5 et 6.	1,00	2,00					1450	1379

TABLEAU Nº XXIII. **MORTIERS** *ordinaires tirés de divers bâtiments, comparés aux mortiers fabriqués pour les expériences avec les mêmes chaux.*

INDICATIONS.	RÉSISTANCES RELATIVES DES MORTIERS.
Mortiers à chaux de Montélimar (nº 1), fabriqués selon le procédé ordinaire.	
Nº 1. Tiré d'une maison particulière à Montélimar, composé avec sable fin en bonnes proportions, âgé de dix-neuf ans..	2278
Nº 2. Tiré d'une vieille tour, à Montélimar, composé comme le précédent, âgé de cent dix ans.	3052
Nº 3. Fabriqué à Souillac, pour les expériences avec sable granitique assez fin, âgé de douze mois et demi	3704
Mortiers à chaux de Viviers (nº 2 bis), fabriqués selon le procédé ordinaire.	
Nº 1. Tiré d'un mur de rempart à Viviers, composé avec sable assez fin, en bonnes proportions; âge inconnu, mais qu'on présume ne pouvoir être au-dessous de six cents ans	4126
Nº 2. Fabriqué à Souillac pour les expériences, avec sable granitique assez fin, âgé de douze mois.	3422
Mortiers à chaux de Cahors (nº 8), fabriqués selon le procédé ordinaire.	
Nº 1. Tiré de l'intérieur d'une maison particulière à Cahors. Mortier maigre à chaux noyée avec sable moyennement gros, âgé de vingt-deux ans	292
Nº 2. *Idem* étoit placé entre deux briques, a éprouvé une dessication très rapide	282
Nº 3. *Idem* ayant éprouvé une dessication ordinaire; mieux fait que les précédents	403
Nº 4. *Idem* des fondations de la même maison, âgés de vingt-trois ans, ayant éprouvé une dessication lente	1366
Nº 5. Tiré du pont de Valentré à Cahors, composé de gros sable et gravier, en bonnes proportions, âgé de quatre cents ans..	1893
Nº 6. Fabriqué à Souillac pour les expériences, avec sable granitique assez fin, âgé de vingt mois.	1017
Nº 7. *Idem* avec gros sable et gravier, âgé de vingt-deux mois...	3107
Nº 8. *Idem* avec gros sable et sable fin mêlés, âgé de vingt-deux mois.	2672
Mortiers à chaux de Lanzac (nº 14) fabriqués selon le procédé ordinaire.	
Nº 1. Tiré d'une maison particulière à Lanzac. Mortier de corniche plutôt maigre que gras, composé avec sable granitique assez fin, âgé de vingt ans	504
Nº 2. *Idem*, autre fragment	499
Nº 3. *Idem*, autre fragment	553
Nº 4. *Idem*, autre fragment	646
Nº 5. Tiré d'une église, composé comme les précédents, mais moins maigre, âgé de deux à trois cents ans	970
Nº 6. Fabriqué à Souillac pour les expériences, avec le même sable, âgé de vingt mois	943
Mortiers à chaux de Loupiac (nº 13), fabriqués selon le procédé ordinaire.	
Nº 1. Tiré d'une maison particulière à Souillac. Mortier plutôt maigre que gras, composé avec sable granitique assez fin, âgé de vingt-sept ans	637
Nº 2. Tiré de l'église de Loupiac, plutôt maigre que gras, composé avec sable fossile, âgé de deux cents ans	483
Nº 3. *Idem*, moins maigre que le précédent	1307
Nº 4. Fabriqué à Souillac pour les expériences, avec sable granitique âgé de vingt mois	530

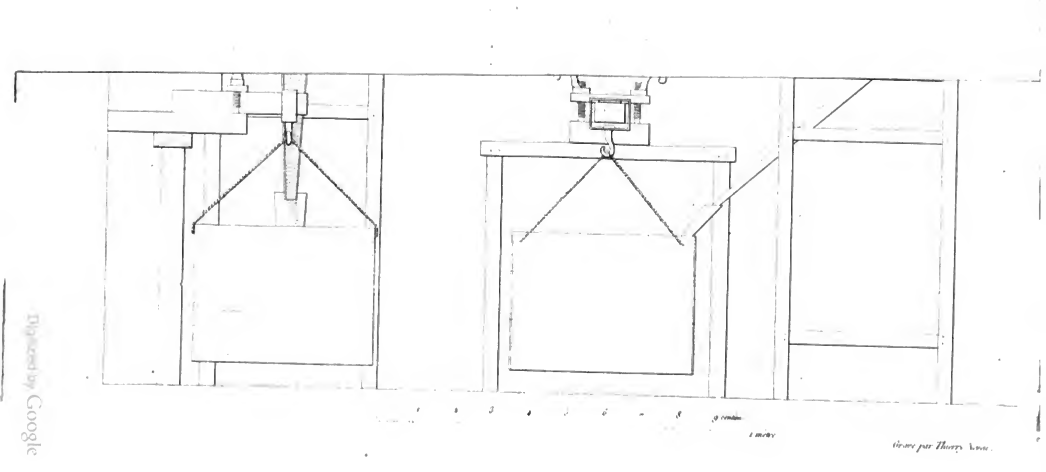


Planche 2.

...ne à éprouver la résistance du Béton.

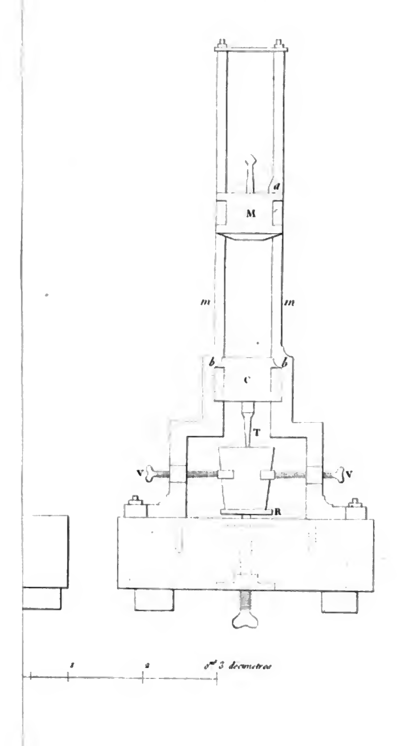


Fig. 1.

c

d

Fig. 2.

b

c

Fig. 3.

b

d

Fig. 4.

b

c

Sections pratiquées sur diverses pièces de chaux et de mortier, agées d'un an, sur lesquelles on a figuré les parties régénérées par l'acide carbonique de l'athmosphère.

LÉGENDE

Fig. 1.

a b c d *Partie lisse.*

a e *Partie fracturée.*

d e *Partie sillonnée.*

b. *Trou du foret.*

Fig. 2.

d a b c *Partie rude.*

d c. *Partie en contact avec un madrier.*

Fig. 3.

a b. *Partie rude.*

a c b d *Parties lissées à la truelle.*

c d *Partie en contact avec un madrier.*

Fig. 4.

a b *Partie rude.*

b c. *Partie lissée à la truelle.*

a d. *Partie fracturée.*

d c *Partie en contact avec un madrier.*

1 2 3 4 5 *c.^{mètres}*

RAPPORT.

RAPPORT

FAIT A L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

SUR UN OUVRAGE DE M. VICAT,

INGÉNIEUR DES PONTS-ET-CHAUSSÉES,

INTITULÉ :

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LES

CHAUX DE CONSTRUCTION, etc.

EXTRAIT DES REGISTRES DE L'ACADÉMIE,
ET IMPRIMÉ PAR SON ORDRE.



A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT,
IMPRIMEUR DU ROI ET DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 24.

1819.

RAPPORT

Fait à l'Académie royale des sciences sur un ouvrage de M. Vicat, *ingénieur des ponts-et-chaussées, intitulé :* Recherches expérimentales sur les chaux de construction, *etc.*

Extrait des registres de l'Académie, et imprimé par son ordre.

M. Vicat, ingénieur des ponts-et-chaussées, dans le département du Lot, a présenté à l'Académie un mémoire intitulé : *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons, et les mortiers ordinaires;* nous avons été chargés de l'examiner et d'en rendre compte, MM. de Prony, Gay-Lussac, et moi.

L'objet de ce travail est de la plus haute importance, puisque la solidité des édifices de toute nature, et particulièrement des constructions hydrauliques, dépend du degré de dureté que peuvent acquérir les mortiers ou ciments employés pour lier entre eux les matériaux de ces édifices : aussi, depuis long-temps, les architectes et les ingénieurs les plus habiles se sont-ils occupés, avec plus ou moins de soin, de rechercher la meilleure composition de ces mortiers; ils ont donné des règles pratiques à cet égard, et ces règles, soumises depuis environ un demi-siècle à l'examen des chimistes et des physiciens, ont reçu des explications diverses, et des modi-

fications que l'expérience et la théorie ont successivement indiquées.

C'est tout-à-la-fois comme constructeur et comme chimiste que M. Vicat a entrepris de traiter cette matière : la position dans laquelle il se trouve, en lui faisant sentir de quelle utilité pouvaient être les recherches qu'il entreprenait, lui a permis de donner à son travail un grand développement : les nombreuses expériences dont il se compose, et les vues nouvelles qu'il présente, ne pouvaient manquer d'exciter l'intérêt de vos commissaires; mais, avant d'en rendre compte, et pour mettre l'Académie à portée de reconnaître ce qui appartient à l'auteur, et d'apprécier par-là le mérite de ses recherches, il convient d'exposer le plus succinctement possible les travaux de ceux qui l'ont précédé, et de fixer l'état de la question au moment où il a été conduit à s'en occuper.

Soumettre une pierre d'une certaine nature à l'action du feu; la rendre ainsi susceptible de former avec l'eau une sorte de pâte; composer de cette pâte et d'une quantité déterminée de sable ou d'autres matières pulvérulentes, un mélange susceptible de s'endurcir par le temps à l'égal des pierres naturelles, auxquelles il est destiné à servir de liaison, sont autant d'opérations qui supposent nécessairement le peuple chez lequel on les mit pour la première fois en pratique, déja parvenu à un état avancé de civilisation. Cependant les blocs de pierre de taille qui forment les assises horizontales des pyramides d'Égypte, c'est-à-dire des plus anciens monuments connus, sont déja liés entre eux par un ciment composé de chaux, de sable, et de fragments de briques, tandis que les constructions qui furent désignées par les anciens sous le nom de constructions *Cyclopéennes*, et qui appartiennent

aux premiers âges de la Grèce, sont, comme on sait, formées de prismes horizontaux à bases irrégulières, posés les uns sur les autres sans aucun ciment intermédiaire. C'est à la perfection avec laquelle leurs faces latérales sont dressées, et à l'exactitude de leur juxta-position, qu'il faut attribuer la belle conservation des murs antiques où on les retrouve encore aujourd'hui. Or, en Grèce et dans la partie de l'Italie où les Grecs vinrent s'établir, les murs *Cyclopéens* servent de soubassement à des constructions évidemment postérieures qui ont leurs matériaux unis par des ciments calcaires : ce fut donc à une époque moins reculée que celle de la construction des murs *Cyclopéens* (1), que l'usage de ces mortiers fut apporté de l'Orient dans les régions de l'Europe les plus anciennement civilisées.

La recherche de cette époque ne serait peut-être pas sans utilité pour ceux qui entreprendraient de tracer la marche, et d'indiquer les progrès de la civilisation des peuples; mais sa détermination précise est étrangère à notre sujet. Nous dirons seulement que si, comme on l'assure, il n'entre point de mortier dans la maçonnerie de la grande cloaque que Tarquin-l'Ancien fit construire à Rome environ six cents ans avant notre ère, ce fut dans l'intervalle des trois cents années qui suivirent, que l'usage des ciments calcaires s'y introduisit : ils entrent en effet dans la maçonnerie de la *voie Appienne*, et ils étaient indispensables pour celle de l'aquéduc destiné à amener l'*Aqua Claudia* sur le mont Aventin. Or ces deux grands monuments d'utilité publique, les premiers de ce genre que l'on ait érigés, sont précisément de la même

(1) *Voyez* les Mémoires de M. Petit-Radel.

date, et ont eu l'un et l'autre pour fondateur le censeur Appius Claudius, qui exerçait sa magistrature l'an de Rome 441. Ainsi l'usage de la chaux pour la préparation des mortiers était nécessairement connu en Italie trois cent treize ans avant l'ère chrétienne.

Tous ceux qui ont écrit sur l'architecture ont attribué à Vitruve d'avoir indiqué le premier les proportions suivant lesquelles le sable et la chaux doivent être mêlés pour la fabrication du mortier. C'est une erreur commune à tous ces auteurs : deux cents ans avant Vitruve, Porcius Caton, le plus ancien de tous les écrivains romains dont les ouvrages nous soient parvenus, avait dit, dans son Traité *de Re rusticâ* (1), non-seulement qu'on devait composer le mortier de deux mesures de sable et d'une mesure de chaux, mais encore il avait spécifié les caractères extérieurs de la pierre calcaire que l'on croyait de la meilleure qualité, et ceux auxquels on jugeait que la cuisson en était achevée. Il avait décrit la forme et les dimensions des fours à chaux, et fait connaître les conditions auxquelles on devait stipuler les marchés que l'on contractait avec les chaufourniers ; ce qui suppose un usage déja très-étendu de la matière qu'ils préparaient.

Vitruve, à la vérité, entre dans de plus grands détails ; il distingue différentes espèces de sable (2), et regarde comme le plus convenable à la fabrication du mortier, le sable fossile le plus âpre au toucher, sans aucun mélange de terre, et qui, jeté sur une étoffe blanche, n'y laisse point de tache

(1) *Marcus Porcius Cato de Re rusticâ*, cap. 15 ; *ibid.* cap 38 ; *ibid.* cap. 16. Caton écrivait environ deux siècles avant J.-C.

(2) *Vitruvii de Architecturâ*, lib. II, cap. 4.

après qu'on l'a secoué; vient ensuite le sable de rivière, puis enfin celui de mer, qu'il place au dernier rang, attendu, dit-il, que le mortier qui en est composé sèche difficilement. Quant aux proportions de chaux et de sable, il les fait varier suivant l'espèce de celui-ci.

Ainsi il prescrit de mêler une partie de chaux éteinte avec trois parties de sable fossile, ou deux parties seulement de sable de rivière ou de mer (1), en observant que l'on rend le mortier fait avec ces deux dernières espèces de sable beaucoup meilleur par l'addition d'une partie de tuileaux concassés.

Cet auteur est aussi le premier auquel on doive la connaissance des propriétés de la pouzzolane, qu'il appelle *poudre de Pouzzoles (pulvis puteolanus)* (2). Il dit qu'on la trouve aux environs de Bayes et du mont Vésuve, et que, mêlée avec la chaux et les pierres, elle donne à la maçonnerie ainsi composée la faculté de s'endurcir merveilleusement, non-seulement dans les édifices ordinaires, mais même au fond de la mer. Il prescrit ailleurs (3), pour la fondation des môles que l'on place à l'entrée des ports, l'emploi d'un mortier composé d'une partie de chaux et de deux parties de pouzzolane. C'est aussi dans cette proportion, qu'il indique de mélanger la chaux et la brique pilée, pour composer la forme de mortier sur laquelle le pavé des maisons et des terrasses devait être assis (4) : car il paraît que dès-lors la pouzzolane était exclusivement réservée pour les constructions hydrauliques.

(1) *Vitruvii de Architecturâ*, lib. II, cap. 5.
(2) *Ibid.* lib. II, cap. 6.
(3) *Ibid.* lib. V, cap. 12.
(4) *Ibid.* lib. VII, cap. 1.

Les divers passages de Vitruve, dont nous venons de rappeler la substance, semblent laisser incertaine la question de savoir dans quel état se trouvait la chaux lors de son emploi : était-elle éteinte d'avance et réduite en pâte? ou bien était-elle employée au sortir du four, à l'état de chaux vive? L'attention que met cet auteur à recommander de ne se servir, pour faire du stuc ou des enduits, que de chaux éteinte depuis long-temps (1), fonderait à croire que, pour les mortiers ordinaires, la chaux était éteinte pendant l'acte même de leur fabrication. Vitruve justifie, au surplus, par une raison très-plausible, la pratique qu'il recommande, de ne faire usage, pour les stucs et les enduits, que d'une chaux ancienne, devenue grasse et gluante : c'est, dit-il, parce qu'il reste toujours dans la chaux qui est employée à la sortie du fourneau, de petites portions de pierre moins calcinées, lesquelles, venant à s'éteindre après la fabrication du stuc, éclatent à sa surface, et en détruisent le poli (2). Il prescrit encore d'enduire les parties basses d'un édifice, et celles qui sont constamment exposées à l'humidité, non pas de mortier fait de chaux et de sable, mais de mortier, de chaux éteinte, et de ciment de brique. (3)

Pline, qui a rassemblé dans son précieux recueil les procédés de presque tous les arts de l'antiquité, a répété, sur la composition des mortiers et l'emploi de la pouzzolane, tout ce que Vitruve en avait dit (4); on n'y trouve, de plus, que les plaintes qu'il fait contre l'avarice des constructeurs,

(1) *Vitruvii, de Architecturâ*, lib. VII, cap. 2.

(2) *Ibid.* lib. VII, cap. 2. (3) *Ibid. ibid.* cap. 4.

(4) *Naturalis historiæ*, lib. XXXVI, cap. 23. *Ibid.* lib. XXXV, cap. 13.

qui, employant des ciments sans liaison, parce qu'ils en dérobaient la chaux, préparaient d'avance la ruine des édifices de Rome. (1)

L'intervalle qui s'est écoulé entre le siècle de Pline et celui de la renaissance des arts en Europe, disparaît, en quelque sorte, dans l'histoire de l'architecture. Cette histoire n'est écrite que par les monuments mêmes de cette époque. Si le goût particulier des peuples du Nord modifia l'ancienne forme des édifices, il est très-vraisemblable qu'ils ne changèrent rien aux procédés de l'art de bâtir que la tradition avait conservés dans les pays qu'ils subjuguèrent : aussi voit-on dans le quinzième et le seizième siècles Léon-Batiste Alberti (2), Palladio, Scamozzi en Italie, et Philibert de Lorme en France, répéter, sur la fabrication du mortier, les prescriptions de Vitruve et de Pline. Le temps n'était point encore venu de perfectionner les anciens procédés par des expériences et des théories nouvelles.

Ce fut dans les parties septentrionales de l'Europe, où l'âpreté du climat soumet les constructions hydrauliques à des chances de destruction plus nombreuses, que l'on songea d'abord à substituer des matières indigènes à la pouzzolane d'Italie, qui ne pouvait y parvenir qu'à grands frais. Il y avait déja long-temps que les Hollandais l'avaient remplacée par le *trass d'Andernach*, qui, comme on sait, n'est autre chose qu'un tuf volcanique des bords du Rhin (3),

---

(1) *Ruinarum urbis ea maximè causa, quod furto calcis, sine ferrumine suo cæmenta componuntur.* (*Nat. hist.* lib. XXXVI, cap. 23.)

(2) *Leonis Batistæ Alberti de Re ædificatoriá*, lib. II.

(3) Ce tuf volcanique se trouve dans la petite vallée de Brohlbach, qui débouche dans le Rhin près du village de Brohl, département de Rhin-et-

réduit en poudre, lorsque, vers le milieu du dernier siècle, la difficulté d'obtenir cette substance à des prix modérés, et celle encore plus grande d'aller chercher la véritable pouzzolane jusqu'au pied du Vésuve, fit imaginer à un ingénieur suédois de remplacer par un produit artificiel ces deux productions volcaniques. (1)

Instruit probablement par l'analyse chimique, et guidé par l'analogie, il calcina une espèce de schiste compacte qui se trouve abondamment auprès de Wesneborg, et, l'ayant pulvérisé, il en composa, avec une certaine proportion de chaux, un mortier dont le bon emploi dans les constructions hydrauliques qu'il dirigeait, justifia pleinement ses conjectures.

Cependant toute espèce de chaux est-elle également propre à la fabrication des mortiers hydrauliques, c'est-à-dire qui sont susceptibles de prendre corps et de s'endurcir sous l'eau? Ce fut encore en Suède que l'on s'occupa, pour la première fois, de résoudre cette question. On y connaissait dans le village de Léna, situé en Uplande, une pierre à chaux qui donnait cette propriété aux mortiers dans la confection desquels on la faisait entrer. Le célèbre Bergman l'ayant analysée, reconnut qu'elle contenait une petite quantité d'oxide de manganèse; et ce fut à la présence de cette substance dans la chaux de Léna, qu'il attribua la propriété caractéristique des mortiers qui en étaient composés. (2)

Moselle. (*Mémoire* sur les richesses minérales de ce département, par M. Calmelet, *Journal des mines*, tom. XXV, pag. 363.)

(1) M. Baggé de Gothembourg. *Voyez* les *Recherches sur la pouzzolane*, par M. Faujas de Saint-Fond, pag. 47-54.

(2) *Hæc præstantia (calcis Lenæ in Uplandiâ) potius magnesio quam*

Quelque temps avant que les essais de Bergman l'eussent conduit à cette conclusion, J. Smeaton, un des plus habiles ingénieurs dont l'Angleterre puisse se glorifier, avait été chargé de reconstruire le phare d'Edystone, situé sur un rocher à l'entrée de la Manche, à quatorze milles de la rade de Plymouth. Il savait, par une longue expérience, que la première condition à remplir pour assurer la solidité de cet édifice, consistait à n'y employer que des ciments de la meilleure qualité. Il faut lire dans les recherches expérimentales jointes à la description qu'il a publiée de ses hardis travaux (1), le détail de tous les soins qu'il prit pour reconnaître les substances les plus convenables à la fabrication des ciments, et les meilleures proportions de leurs mélanges.

L'usage ordinaire de ses devanciers était de composer leur mortier hydraulique de deux parties en volume de chaux éteinte, et d'une partie de trass de Hollande. Il reconnut que des boules faites de ce mortier avaient en effet la propriété de s'endurcir sous l'eau, mais que cette propriété se manifestait bien plus constamment lorsque le trass et la chaux étaient mélangés en parties égales. Il reconnut encore, qu'en quelques proportions que l'on combinât le sable ordinaire et la chaux, jamais on ne parvenait à en composer des mortiers

---

inhærenti ferro adscribenda videtur, quum lapides calcarei magnesio spoliati, martialis tamen circiter æquali dosi contaminati ac Lenenses, nihilominus debiliorem porrigunt calcem. (*Torberni Bergman opuscula*, tom. II, pag. 229.)

(1) *Narrative of the building, and a description of the Edystone-lighthouse, with stone, etc.* Un extrait de cet ouvrage a été inséré dans le second recueil de divers mémoires de la Bibliothèque des ponts-et-chaussées, par M. Lesage.

qui résistassent à cette épreuve; et cela avait lieu, soit que la chaux provînt de craie friable, soit qu'elle provînt de marbre compacte.

Mais, entre ces deux pierres calcaires qui, par leurs caractères extérieurs, semblent former les deux termes extrêmes de la série dans laquelle sont comprises toutes les substances de cet ordre, il fallait s'assurer s'il n'en existait pas quelqu'une plus propre qu'aucune autre à la confection des mortiers hydrauliques : tel fut l'objet de la première recherche de Smeaton. Il avait entendu dire qu'on tirait d'Aberthaw, dans le comté de Clamorghan, une chaux qui avait la propriété de s'endurcir sous l'eau. Il se procura des échantillons de cette pierre; il les calcina lui-même, et remarqua que de bleuâtres qu'ils étaient, ils passaient à la couleur fauve par la calcination. Les mortiers qu'il en composa avec le trass s'endurcirent très-promptement sous l'eau, et leur dureté s'accrut à mesure qu'ils y restèrent plus long-temps.

Il s'agissait de savoir à quoi tenait cette propriété; mais Smeaton n'avait que peu ou point de connaissances chimiques. Un de ses amis auquel il eut recours lui enseigna à faire l'analyse des pierres à chaux qu'il voudrait éprouver. Il en réduisait en poudre grossière environ le poids d'une guinée; versant ensuite sur cette poudre de l'acide nitrique, il trouva que si elle était dissoute en entier, comme cela arrivait à la craie pure et au marbre, la chaux faite avec cette pierre ne jouissait point de la propriété cherchée; tandis qu'au contraire, si après la dissolution il restait un sédiment au fond du vase, la pierre était propre à faire de la chaux hydraulique; et c'était ce qui avait lieu pour la chaux d'Aberthaw. Quant à la nature de ce sédiment, la seule différence de pe-

santeur spécifique des matières qui le composaient, fit reconnaître qu'il était formé d'une certaine quantité de sable siliceux et d'une portion de glaise bleuâtre, qui, après avoir été séchée, se trouvait à-peu-près le huitième du poids total de la pierre. Ainsi la chaux d'Aberthaw contenait, après la calcination, une certaine quantité de sable quartzeux et d'argile : c'est à la présence de ces substances que Smeaton attribue sa propriété de prendre corps et de durcir dans l'eau. (1)

Nous avons cru devoir rapporter cette analyse, toute grossière qu'elle est, parce qu'elle peut être faite par-tout, et que par-tout l'on peut avoir besoin d'une chaux propre à former un bon mortier hydraulique. Smeaton crut remarquer, au surplus, que, pour jouir éminemment de cette propriété, il ne suffisait pas que la pierre contînt une certaine quantité de quartz et d'argile, il fallait encore qu'elle acquît la couleur fauve par sa calcination.

Nous voici conduits naturellement à faire entre les pierres à chaux une distinction que les anciens n'avaient point faite. Quelques-unes de ces pierres, susceptibles de se dissoudre en entier dans les acides, augmentent du double ou du triple de leur volume, lorsqu'après leur calcination on en forme une pâte avec l'eau; quelques autres, que les acides ne dissolvent qu'en partie, donnent une chaux dont le volume n'augmente que peu ou point à l'extinction : ce sont les *chaux grasses* et les *chaux maigres*, suivant leurs désignations vulgaires; et comme une quantité donnée de pâte de

---

(1) Deuxième recueil de divers mémoires extraits de la Bibliothèque de l'école des ponts-et-chaussées, par M. Lesage, pag. 91 et suiv.

Le sieur Loriot, mécanicien et pensionnaire du roi, crut être parvenu à en expliquer le véritable sens. Il publia, en 1775, un mémoire (1) dont l'objet était de prouver que l'ancien procédé du mortier romain se réduisait à ajouter au mortier ordinaire de sable et de chaux éteinte un quart de chaux vive réduite en poudre très-fine. Ces expériences furent répétées par plusieurs personnes, et notamment à Dijon par M. Guyton de Morveau, qui, dans une instruction spéciale, proposa de calciner la chaux une seconde fois, avant de la mêler au mortier, pour prévenir les accidents qui pouvaient résulter, pour les ouvriers, de sa pulvérisation. Il attestait en même temps l'excellence de ce procédé par les résultats avantageux qu'il en avait lui-même obtenus. (2)

Nous avons dit que le passage de Pline sur lequel on appuyait l'authenticité de la découverte, se prêtait à plusieurs interprétations; on ne tarda pas à lui trouver un autre sens que celui qu'on lui avait d'abord supposé.

Deux ans après la publication du procédé de Loriot, parurent en effet les recherches de M. de la Faye sur la préparation que les Romains donnaient à la chaux, et sur la composition de leurs mortiers (3). L'auteur prétendit qu'il fallait uniquement en attribuer la dureté à la manière d'éteindre la chaux, qu'il annonçait avoir retrouvée : elle consistait, selon lui, à immerger un panier d'osier rempli de chaux vive ré-

---

(1) *Journal de physique*, tom. III, pag 231.

(2) *Ibid.* tom. IV, pag. 418. *Ibid.* tom. VI, pag. 311.

(3) *Recherches* sur la préparation que les Romains donnaient à la chaux. (Paris, 1777.). *Mémoire* pour servir de suite aux *Recherches* précédentes. (Paris, 1778.)

duite en morceaux de la grosseur d'un œuf; à tenir cette matière ainsi submergée jusqu'à ce que l'eau commençât à bouillonner au-dessus. On devait alors la retirer, la laisser égoutter quelques instants dans le panier, et la verser ensuite dans des tonneaux où elle s'échauffait et se réduisait en poudre après un certain temps. C'est dans cet état qu'il prescrivait d'en faire usage. Que ce procédé soit ou non celui des Romains, il est constant, d'après le témoignage de Guyton, qui annonce en avoir fait l'épreuve pour la construction d'un aquéduc souterrain, que l'on peut, dans certaines circonstances, en obtenir des résultats satisfaisants. (1)

En rappelant le passage de Vitruve sur la composition des mortiers, nous n'avons pas cru devoir exposer l'explication qu'il donne de l'endurcissement de ces préparations. Ce phénomène est d'un ordre auquel la physique des anciens ne pouvait s'élever; nous n'avons été mis sur la voie d'y parvenir, que par les découvertes des chimistes modernes.

Les expériences de Joseph Black, professeur de chimie à Edimbourg, venaient d'apprendre qu'il existait dans la pierre calcaire une quantité considérable d'une substance acriforme, qu'on a appelée depuis *gaz acide carbonique,* laquelle en était enlevée par l'acte de la calcination; un des principaux effets de cette opération étant d'ailleurs de détruire la consistance primitive de la pierre qu'on y avait soumise, et de la rendre soluble dans l'eau.

Un autre professeur de chimie en Angleterre, le docteur Hyggins entreprit, au commencement de 1775, de rechercher si l'endurcissement des mortiers ne provenait pas de ce que

(1) *Annales de chimie,* tom. XXXVII.

la chaux en pâte employée dans leur fabrication se combinait plus ou moins rapidement avec le gaz acide carbonique de l'atmosphère, et revenait ainsi à l'état de pierre calcaire ordinaire. C'est en ce point de doctrine que consiste la théorie développée par le docteur Hyggins dans un traité spécial (1) publié à Londres en 1780. Ce travail, l'un des plus étendus auquel cette matière ait donné lieu, contient une nombreuse série d'expériences.

L'auteur, après avoir fait voir que la chaux est d'autant meilleure qu'elle a perdu plus complétement par la calcination le gaz acide carbonique qui la constitue dans la carrière à l'état de pierre calcaire, s'attache à prouver, par des observations très-curieuses, que la chaux vive exposée à l'air libre tend à s'emparer très-promptement du gaz acide carbonique répandu dans l'atmosphère, et qu'après avoir été altérée par cette nouvelle combinaison, elle ne convient plus à la fabrication de mortiers d'aussi bonne qualité qu'auparavant; il prescrit, par cette raison, d'employer la chaux le plus tôt possible après sa sortie du four, et le mortier aussitôt après sa fabrication (2). Il remarqua que des mortiers qui se desséchaient trop vîte n'acquéraient aucune consistance. Observant ensuite que les molécules de sable quartzeux que l'on fait entrer dans leur composition, sont les parties les plus dures de ces préparations, il pense qu'elles doivent acquérir d'autant plus de solidité, que les petites lames de

(1) *Experiments and observations made with the view of improving the art of composing and applying calcareous ciments*, etc.; by Bry. Hyggins, d. m. (London, 1780.)

(2) *Ibid.* sect. V, pag. 29 et suiv.

chaux interposées entre les grains de sable ont moins d'épaisseur ; il cite, à ce sujet, des faits d'où il résulte qu'un mortier composé de sept parties de sable, et seulement d'une partie de chaux éteinte, a pris consistance plus promptement que celui dans lequel la chaux était entrée en plus grande proportion (1). A l'appui de ces observations, le docteur Hyggins affirme avoir reconnu, par l'analyse de ciments tirés d'édifices antiques, que les anciens avaient adopté cette proportion de un à sept dans la fabrication de leurs mortiers de chaux et sable (2).

Il conclut, de diverses expériences qu'il cite, qu'en se combinant avec la proportion d'acide carbonique nécessaire pour lui donner le degré de dureté qu'elle est susceptible d'acquérir, la chaux des mortiers augmente des trois cinquièmes de son poids (3).

Quelque curieux que paraissent les résultats des expériences de Hyggins sur l'endurcissement de la chaux des mortiers, les résultats de celles qu'il fit sur les sables qui entrent dans leur composition, ne le sont pas moins. Il les distingua en trois classes, par la grosseur de leurs grains ; il reconnut que, plus elle est considérable, plus les vides interposés sont spacieux. Il observa que le sable abreuvé d'eau occupe un volume d'environ un septième moins considérable que celui qu'il occupait avant d'être mouillé (4), effet qui, dépendant

---

(1) *Experiments and observations made with the view of improving the art, etc.*, sect. VIII, pag. 51.

(2) *Ibid.*, sect. X, pag. 60.

(3) *Ibid.*, sect. XI, pag. 69.

(4) *Ibid.*, sect. XII, pag. 18.

tout-à-la-fois de la grosseur et de la figure des molécules de sable, s'explique naturellement par la capillarité des intervalles qui les séparent. Il reconnut aussi, que si l'on mélangeait parties égales de sable grossier et de sable fin, il se manifestait une diminution de volume dans ce mélange, c'est-à-dire, par exemple, que neuf parties de sable grossier et neuf parties de sable fin étant mêlées ensemble, ne formeraient pas un volume de dix-huit, mais seulement de seize parties et un huitième. Enfin, appliquant l'observation de ces faits à la fabrication du mortier, il trouva que le meilleur était composé de quatre parties de gros sable, de trois parties de sable fin, et d'un peu plus d'une partie de chaux (1).

Nous ne suivrons point le docteur Hyggins dans les détails qu'il donne de ses essais, pour reconnaître l'influence de différentes substances incorporées dans le mortier calcaire, telles que l'argile crue, le plâtre en poudre, quelques oxides métalliques, le soufre, les cendres de bois ou de charbon de terre, les cendres d'os pulvérisés, etc. : il nous suffira de dire qu'il termine son mémoire par l'indication d'un mortier particulier, pour l'emploi duquel il avait obtenu une patente. Son procédé consiste à laver d'abord dans une eau courante le sable dont on doit se servir ; il faut ensuite le faire passer dans deux cribles dont les mailles ont différentes grandeurs, afin de pouvoir séparer ce qu'il appelle le gros sable et le sable fin ; les faire sécher au soleil, et les mélanger ensuite dans la proportion de cinquante-six parties en poids du premier contre quarante-deux parties du second. Il prescrit d'en for-

(1) *Experiments and observations made with the wiew of improving the art of composing*, *etc.*, sect. XII, pag. 93.

mer sur un plancher un monceau que l'on arrose avec de l'eau tenant en dissolution une demi-once de chaux par pinte, jusqu'à ce que, par l'écoulement de l'eau surabondante à celle que retiennent entre eux les grains de sable, on s'aperçoive que l'action capillaire cesse de s'exercer. On ajoute à ce mélange de sable quatorze parties en poids de chaux éteinte par aspersion, et autant de cendres d'os calcinés à blanc; on corroie ce mortier à la manière ordinaire. Le docteur Hyggins recommande de le mettre en œuvre aussitôt après qu'il est fabriqué, et l'indique comme essentiellement propre à former des enduits homogènes et prompts à s'endurcir (1).

Nous nous sommes arrêtés quelques instans sur l'ouvrage du docteur Hyggins, parce qu'il entre dans l'objet de ce rapport de faire remarquer les faits qu'il contient, et que nous aurons occasion de revenir sur la théorie qui y est présentée; nous devons dire cependant que si le chimiste anglais l'a adoptée le premier, en 1775, dans les leçons qu'il donnait, il ne l'a publiée qu'en 1780; ce qui laisse à M. Achard de Berlin la priorité de publication d'une théorie analogue.

On lit, en effet, dans le Journal de physique du mois de janvier 1778, une lettre de ce chimiste, où l'on trouve la description d'un appareil à l'aide duquel il obtint de la combinaison de l'acide carbonique avec la chaux dissoute dans l'eau, et par une évaporation lente de cette dissolution, des cristaux très-durs de carbonate de chaux (2). Ce fait induisit

(1) *Experiments and observations made with the wiew of improving the art of composing, etc.*, sect. XXIII, pag. 184 et suiv.

(2) Copie d'une lettre de M. Achard, chimiste de l'académie de Ber-

M. Faujas de Saint-Fond à attribuer l'endurcissement des mortiers calcaires à la combinaison, par l'intermède de l'eau, de la chaux éteinte avec l'acide carbonique que la calcination n'en a pas entièrement enlevé.

L'écrit de M. Faujas où nous avons trouvé cette idée consignée, est de 1778. Il a pour objet spécial de prouver que les pouzzolanes du Vivarais et des autres contrées volcaniques de la France, peuvent être substituées à la pouzzolane d'Italie. Des expériences sur ces matières furent entreprises à Toulon, avec une sorte d'appareil, en 1777. M. Faujas rapporte le procès-verbal de l'immersion qui y fut faite de trois caisses de béton composé de douze parties de pouzzolane du Vivarais, de six parties de gros sable, de neuf parties de chaux vive, et de seize parties de pierrailles; les commissaires annoncent, dans ce procès-verbal, que ce béton, immédiatement après sa fabrication, se rapprochait parfaitement de celui composé avec des pouzzolanes de Naples; mais, comme on ne trouve, ni dans l'ouvrage que nous venons de citer, ni dans celui qui fut publié en 1782 pour lui servir de supplément (1), le procès-verbal de l'état de dureté ou de mollesse auquel ces bétons étaient parvenus lorsqu'ils furent retirés de la mer, les expériences que nous venons de rappeler ne fournissent aucune conclusion dont on puisse

---

lin, etc., contenant la découverte qu'il a faite sur la formation des cristaux et des pierres précieuses. (*Journal de physique*, janvier 1778, pag. 12.)

(1) *Mémoire* sur la manière de reconnaître les différentes espèces de pouzzolane, et de les employer dans les constructions; par M. Faujas de Saint-Fond. (Paris, 1780.)

s'appuyer pour ou contre l'emploi des pouzzolanes que M. Faujas recommandait.

Ce savant n'en a pas moins le mérite d'avoir attiré l'attention publique sur la possibilité de remplacer en France la pouzzolane d'Italie par d'autres substances d'un prix moins élevé. Ses tentatives offraient alors d'autant plus d'intérêt, que les travaux de nos ports, qui prirent alors une grande activité, exigeaient plus spécialement l'emploi de mortiers hydrauliques. Il paraît qu'à l'occasion de ceux de Cherbourg, M. Guyton de Morveau adressa à M. Cessart, inspecteur-général des ponts-et-chaussées, qui les dirigeait, un échantillon de basalte provenant d'un volcan éteint du département de Saône-et-Loire (1). Cette substance, après avoir été calcinée, réduite en poudre et substituée à la pouzzolane d'Italie dans la fabrication du béton, donne, suivant le témoignage de cet ingénieur, un mortier d'une consistance à-peu-près égale, après quelques mois d'immersion.

Personne n'était plus convaincu que M. Guyton, des avantages que la chimie pouvait fournir à l'art de bâtir; c'est, du moins, ce qu'il est permis de conclure de l'empressement avec lequel il a saisi toutes les occasions d'appliquer cette science au perfectionnement des mortiers. Aussitôt qu'il eut connu l'analyse de la chaux de Léna, dont Bergman lui avait envoyé des échantillons, il soumit aux mêmes essais, en 1783, six espèces de chaux maigres de l'ancienne province de Bourgogne. Deux de ces pierres, celle de Brion, dans le département de Saône-et-Loire, et celle de Morex, dans le pays

(1) *Mémoire* sur les mortiers, la chaux maigre, le béton et la pouzzolane; par M. Guyton. (*Annales de chimie*, tom. XXXVII.)

de Gex, prirent, à la calcination, la couleur brune qui y décèle la présence du manganèse, et soutinrent la comparaison de celle de Léna dans les expériences auxquelles elles furent soumises (1). Ce fut à la suite de ce travail, que Guyton imagina de suppléer à ces pierres, dans les lieux où elles manquent, en mêlant ensemble quatre parties d'argile grise, six parties d'oxide noir de manganèse, à quatre-vingt-dix parties de bonne pierre à chaux réduite en poudre.

Quatre ans après la publication de ces expériences de Guyton sur les chaux maigres, parut, en 1787, un mémoire de M. Chaptal, ayant pour objet de faire connaître les avantages qu'on peut retirer des terres ocreuses, et notamment d'exposer les moyens d'en former des pouzzolanes artificielles (2). La troisième partie de ce mémoire contient le récit d'expériences d'où il résulte que l'on peut convertir en pouzzolanes, par la seule calcination, dans un fourneau approprié, 1° les terres ou ocres vierges connus généralement dans le Languedoc sous le nom de *terres bolaires;* 2° les terres bolaires jaunes, qui passent au rouge par la calcination; 3° les schistes noirâtres. M. Chaptal indique différents procédés de calcination, suivant qu'on alimente le feu du fourneau avec du charbon de terre ou du bois. On essaya deux à trois mille quintaux de ces ocres; et l'exposé des expériences comparatives qui en furent faites, avec la pouzzolane d'Italie et celle provenant

(1) *Mémoire* sur la chaux maigre de Brion en Bourgogne, etc. (Second semestre des Mémoires de l'*Académie de Dijon* pour 1783, pag. 70.)

(2) *Observations* sur quelques avantages qu'on peut retirer des terres ocreuses, avec les moyens de les convertir en brun rouge, et d'en former des pouzzolanes, etc.; par M. Chaptal. (Paris, 1787.)

des anciens volcans du Vivarais, terminent cet important travail.

Les premières furent commencées aux mois de mai et de juin 1785. Des mélanges formés d'une mesure de pouzzolane, de deux mesures de chaux éteinte, et d'une mesure de recoupes de pierre, furent immergés pendant trois mois dans un bassin. Le béton composé avec la pouzzolane artificielle acquit en peu de temps un degré de consistance presque égal à celui du béton composé avec la pouzzolane d'Italie (1). Il suffisait de cette première expérience, pour prévoir que l'on pourrait tirer parti de ces terres calcaires dans les constructions hydrauliques. Il en fut remis, en conséquence, aux commissaires des travaux publics de la province de Languedoc, pour en faire, au port de Cette, des essais comparatifs avec les pouzzolanes d'Italie et du Vivarais. Six caisses de béton composé d'une partie et demie de chaux éteinte, d'une partie et demie de pierrailles, et de deux parties de pouzzolane d'Italie et du Vivarais, furent mises à la mer avec précaution le 25 avril 1786, et observées de huit jours en huit jours jusqu'au 25 octobre de la même année, époque à laquelle on reconnut, suivant le procès-verbal qu'on avait dressé de ces observations hebdomadaires, que les pouzzolanes artificielles fabriquées dans la province, équivalaient, par la dureté du béton qu'on en avait composé, à celles tirées de l'étranger; avantage que semblaient ne pas présenter les pouzzolanes naturelles du Vivarais (2).

M. Chaptal recommande, en terminant son mémoire, d'em-

---

(1) *Observations* sur quelques avantages, etc., pag. 17 et suiv.

(2) *Ibid.* pag 29.

ployer la chaux fraîchement éteinte par le procédé de la Faye; mais il n'y est pas dit de quelle nature était la chaux dont on fit usage. On y voit seulement, par l'analyse des diverses substances qui avaient été mises à des épreuves comparatives, que la nature et les proportions de leurs parties constituantes rapprochent les terres ocreuses du Languedoc beaucoup plus des pouzzolanes actuelles de l'Italie, que ne s'en rapprochent celles provenant de nos anciens volcans.

Pendant que M. Chaptal s'occupait à Montpellier de trouver, dans l'emploi des matières naturelles à notre sol, le moyen de nous affranchir du tribut payé à l'étranger pour les pouzzolanes employées jusqu'alors dans la fabrication des mortiers hydrauliques, M. Rondelet, architecte de l'église Sainte-Geneviève, faisait à Paris des expériences nombreuses sur les mortiers employés à l'air dans les travaux d'architecture civile (1) : il n'est point de notre sujet d'entrer dans le détail de toutes ses expériences; nous dirons seulement qu'il en résulte en général que le mortier de sable fossile est meilleur que celui de sable de rivière fait dans les mêmes proportions; que la massivation ou battage du mortier, quand il est employé en enduit, lui fait toujours acquérir une plus grande dureté. Enfin, ayant soumis à l'épreuve d'une machine de pression des briques de différentes préparations composées de chaux mêlée avec du sable, du tuileau concassé, et des pouzzolanes d'Italie, du Vivarais et d'Écosse, M. Rondelet reconnut que tous ces mortiers offraient différents degrés de résistance à leur écrasement. Il trouva aussi que,

(1) *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, par J. Rondelet. (Tom. I[er], première livraison, 1803.)

dans un intervalle de quinze ans, c'est-à-dire depuis 1787 jusqu'en 1802, tous avaient acquis de la dureté, mais suivant des lois différentes; de sorte, par exemple, que la dureté du mortier de pouzzolane de Naples avait augmenté d'un tiers, tandis que celle du mortier de pouzzolane d'Écosse n'avait augmenté que d'un cent-quatre-vingtième. Il est à remarquer, au surplus, que ce dernier est celui de tous dont la consistance, immédiatement après sa confection, avait été trouvée la plus considérable. Ainsi, en 1787, sa résistance à l'écrasement était, à la résistance du mortier ordinaire de chaux et de sable, dans le rapport de 396 à 255, et en 1802, dans le rapport de 398 à 286.

M. Rondelet entreprit encore de déterminer la cohérence du mortier de chaux et de sable fin, avec des pierres de différentes espèces et des briques et tuileaux (1). Il reconnut que, six mois après avoir scellé l'une à l'autre avec du mortier, des surfaces dont chacune était un quarré de 6 centimètres de côté environ, il fallait employer, pour détacher deux pierres de liais, un effort de 31 kilogrammes; tandis que, pour détacher deux tuiles de Bourgogne, il fallait en employer un de 69 : l'adhérence du mortier avec les diverses pierres de taille tirées des carrières de Paris, et même avec la meulière, étaient entre ces deux limites. (2)

Guyton fit en 1800, sur les mortiers, la chaux maigre, les bétons et les pouzzolanes, de nouvelles recherches qui sont insérées dans le 37e volume des Annales de chimie. L'analyse de la chaux maigre de Metz, rapportée dans ce

(1) *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir, etc.*, pag. 306 et suiv.
(2) *Ibid.*, pag. 310 et 311.

4

Mémoire, indiqua qu'elle contenait trois et demi pour cent d'oxide de manganèse. Guyton, qui d'abord avait embrassé l'opinion de Bergman sur l'influence de cet oxide, était alors disposé à croire qu'une quantité notable de silice et d'alumine était nécessaire à la production du phénomène caractéristique de la chaux maigre; il cite même, à ce sujet, l'opinion de Saussure qui, dès 1786, avait avancé que la pierre calcaire de Chamouni pouvait être convertie en chaux de cette espèce, quoiqu'elle ne contienne point d'oxide de manganèse. (1)

Ce fut à-peu-près à la même époque qu'un anglais fit connaître sur la côte de Boulogne une espèce de caillou roulé, lequel, après sa calcination dans un four à chaux ordinaire, étant réduit en poudre fine, et gâché avec de l'eau, à la manière du plâtre, manifeste la propriété de faire corps très-promptement, et de s'endurcir sous l'eau, sans avoir besoin d'être mélangé avec aucune autre matière. Un rapport fait à la Société d'agriculture de Boulogne le 1er floréal an X, et inséré dans le 12e volume du Journal des mines, indique avec beaucoup de détails les procédés à suivre pour la cuisson de cette pierre, pour sa trituration et pour son emploi; elle y est désignée sous le nom de *plâtre-ciment*, et sa propriété de prendre corps sous l'eau est attribuée, suivant l'opinion de Bergman, à la présence du manganèse. Cependant M. Drapier, élève des mines, n'y reconnut point cette substance, mais il trouva qu'elle contenait sept pour cent d'oxide de fer; et comme la chaux y existe en beaucoup

(1) *Voyage dans les Alpes*, par M. Saussure, in-4°, tom. II, pag. 140 et suiv.

plus grande proportion que les autres substances, il en conclut que le *plâtre-ciment,* qui probablement est la même matière que Smeaton avait trouvée à l'état de caillou roulé, sans avoir pu en découvrir le gîte, doit se ranger naturellement parmi les pierres calcaires propres à former de la chaux maigre.

On doit à M. Gratien Le Père, ingénieur des ponts-et-chaussées, employé au port de Cherbourg en l'an XII, une suite assez nombreuses d'expériences entreprises comme celles de M. l'ingénieur suédois Baggé, dans la vue de substituer à la pouzzolane d'Italie les produits de la calcination de certaines espèces de schistes (1). Parmi ceux que M. Gratien Le Père mit à l'épreuve, le schiste d'Haineville lui procura les résultats les plus satisfaisants; il en forma, avec la chaux maigre de Grasville et des blocailles de granit, un béton qui, plongé dans l'eau de mer pendant plusieurs mois, y acquérait une dureté presque égale à celle du béton composé de pouzzolane d'Italie. Mais, ce qui est remarquable, c'est que cet endurcissement des bétons composés de schistes calcinés, ne se manifestait pas lorsque l'on employait de la chaux grasse dans leur confection.

L'analyse du schiste d'Haineville faite par M. Collet-Descotils, indique qu'il contient à-peu-près la même quantité de silice et de chaux que la pouzzolane d'Italie; mais l'alumine de celle-ci est remplacée dans le schiste par cinquante-

(1) *Recueil* des rapports et observations sur les expériences faites à Cherbourg pour remplacer la pouzzolane dans les constructions hydrauliques; par M. Gratien Le Père, ingénieur des ponts-et-chaussées. (2ᵉ édition; Paris 1805.)

sept centièmes d'oxide de fer : il contient aussi quatre centièmes de manganèse.

M. Gratien Le Père a ajouté à son mémoire un tableau des analyses comparatives de deux espèces de pouzzolanes d'Italie, des pouzzolanes grises et rouges du Vivarais, des terres ocreuses du Languedoc, des schistes de Cherbourg et d'Haineville, du trass d'Andernach, de la cendrée ou ciment d'Amsterdam, enfin de la pierre de Boulogne (1). En jetant les yeux sur ce tableau, on reconnaît que toutes ces substances contiennent, en différentes proportions, de la silice et de l'alumine; que l'on trouve, en outre, dans quelques-unes, de l'oxide de fer, dans quelques autres de l'oxide de manganèse; enfin que le plâtre-ciment de Boulogne, faisant une sorte d'exception à cette série de substances, contient une quantité de chaux qui n'est pas moindre que les trois cinquièmes de son poids.

La publicité que M. Gratien Le Père donna à ses expériences, et le rapport avantageux qui en fut fait à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, déterminèrent M. le directeur-général des ponts-et-chaussées à les faire répéter par cet ingénieur sous les yeux d'une commission dont M. Guyton était le président (2). Le procès-verbal des résultats de ces nouvelles épreuves, que l'on suivit à Paris et au Hâvre, depuis l'automne de 1806 jusqu'au printemps de 1807, prouvent qu'après trois mois d'immersion, les bétons faits de chaux de Grasville et de schistes calcinés des environs de

---

(1) *Recueil* des rapports et observations, etc., pag. 26.

(2) *Deuxième Recueil* de divers Mémoires sur les pouzzolanes naturelles et artificielles; par M. Gratien Le Père. (Paris, 1807.)

Cherbourg, avaient acquis à-très-peu-près autant de dureté que ceux fabriqués avec la pouzzolane d'Italie ou le trass de Hollande; et que si la comparaison qui en fut faite présentait quelque différence, il fallait l'attribuer au mode de calcination que l'on avait adopté, et que des expériences répétées auraient appris à perfectionner.

Quelque jugement que l'on ait porté, dans le temps, des expériences de M. Gratien Le Père, on ne peut trop louer le zèle et la persévérance avec lesquels il s'y livra. Elles eurent encore l'avantage d'exciter l'attention et de provoquer de nouveaux essais : dès le mois d'août 1806, on fit à Rouen l'épreuve de bétons composés de chaux maigre de la côte Sainte-Catherine, et de terres ocreuses calcinées suivant les procédés de M. Chaptal; on y fit entrer douze parties de ces terres, six parties de sable quartzeux, neuf parties de chaux maigre, et seize parties de moëllon dur et de silex concassé. Ils furent immergés dans la Seine le 15 septembre 1807. On ne les en retira que le 14 août suivant, et ils furent trouvés presque aussi durs que des bétons de pouzzolanes d'Italie que l'on avait soumis à la même épreuve. (1)

M. Sage lut à l'Institut, le 17 octobre 1808, un Mémoire sur les mortiers et ciments. Il eut pour objet de faire connaître, par une suite d'expériences, le degré de consistance qu'acquièrent avec la chaux différentes matières tirées des trois règnes.

Parmi les faits qu'il rapporte, celui qui paraît le plus digne d'être remarqué est l'endurcissement d'un mélange de deux parties de chaux éteinte, et de trois parties de craie réduite

(1) *Deuxième Recueil* de divers Mémoires, etc., pag. 46 et suiv.

en poudre à tel point que ce mélange devient susceptible de recevoir le poli. (1)

Nous ne devons point passer sous silence un Mémoire sur l'origine et la nature des mortiers, publié en 1808 par M. Daudin, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, deux ans après la publication des recherches de M. Chaptal sur les terres ôcreuses. Cet ingénieur, qui était alors employé au canal du Midi, s'occupa, sur les pouzzolanes naturelles ou factices, d'un premier travail auquel son dernier Mémoire se rattache: celui-ci contient l'exposé des faits principaux que nous avons cru devoir rappeler; l'auteur s'y plaint de l'usage, malheureusement trop général, d'abandonner la fabrication des mortiers à la routine d'ouvriers insouciants. Ces plaintes, et les vues qu'il propose pour remédier à l'abus qui les provoque, sont d'un ingénieur expérimenté. (2)

Nous ne parlerons ni des procédés indiqués pour la fabrication des mortiers par différents auteurs d'ouvrages d'architecture, qui n'ont pas fait eux-mêmes d'expériences, ni des méthodes particulières données par quelques autres comme des recettes empiriques; ce serait nous écarter du but de ce rapport.

Mais il entre dans son objet de revenir sur un point important relatif à la chaux maigre.

Nous avons dit que le peu d'avantage que présente son emploi aux entrepreneurs de bâtiments dans les constructions civiles, en avait jusqu'à-présent tresreint l'usage à de

---

(1) *Des mortiers ou ciments*, par M. Sage. (1809, pag. 20.)

(2) *Réflexions sur l'origine et la nature des mortiers*, par M. Daudin, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées. (Au Mans, 1808.)

très-petites constructions hydrauliques, regardées en quelque sorte comme des objets de pure curiosité. Ainsi les chaufourniers n'ont apporté aucun intérêt à préparer une matière qui ne leur eût fourni qu'une chaux d'un débit incertain. La seule chaux maigre que l'on connaisse à Paris et dans les départements voisins, est fabriquée avec la pierre de Senonches, bourg situé dans le département d'Eure-et-Loir, entre Dreux et Verneuil. M. Vitalis, professeur de chimie à Rouen, en fit l'analyse à l'occasion des expériences dont nous avons rendu compte (1). Il s'agissait de la comparer avec celle provenant de la côte de Sainte-Catherine. Cette analyse prouva que ces deux espèces de chaux avaient les mêmes parties constituantes, mais que le manganèse ne s'y rencontrait point; ce qui infirme l'opinion de Bergman et de Guyton, et vient appuyer ce que Saussure avait avancé à l'occasion de la chaux maigre de Chamouni. Cet examen chimique de la chaux de Senonches fut confirmé en 1813 par Collet-Descotils, chimiste habile, trop tôt enlevé à ses amis et aux sciences. La courte notice qu'il en a publiée dans le *Journal des mines*, est extrêmement importante (2). Il y remarque que l'analyse d'une chaux grasse des environs de Nemours ne présente que de la chaux pure et de l'acide carbonique, tandis que la pierre calcaire de Senonches fournit, indépendamment de ces deux substances, un quart de silice extrêmement fine, avec une très-petite proportion de magnésie, d'alumine et de fer. « Cette silice, dit-il, qui n'est point attaquée

(1) *Deuxième Recueil* des Mémoires de M. Gratien Le Père, pag. 49.

(2) *Sur la chaux maigre*, par M. Collet Descotils, ingénieur en chef des mines. (*Journal des mines*, tom. XXXIV, pag. 308.)

« lorsqu'on dissout dans les acides la pierre calcaire de Se-
« nonches, se dissout presque en entier lorsque l'on soumet
« à leur action la chaux fabriquée avec cette même pierre. La
« silice doit se trouver, par conséquent, dans la chaux de
« Senonches, à un état qui la rend propre à éprouver l'ac-
« tion des agents chimiques; et il est très-probable qu'elle
« contracte, par l'addition de l'eau, une union qui doit être
« moins attaquable que la chaux seule par l'action de l'atmo-
« sphère ou de l'eau. La forte proportion de silice explique
« d'ailleurs pourquoi la chaux maigre foisonne moins que la
« chaux grasse. »

« D'après ce qui vient d'être exposé, continue Descotils,
« il paraît très-vraisemblable que la condition essentielle
« pour qu'une pierre calcaire fournisse de bonne chaux mai-
« gre, est qu'elle contienne une grande quantité de matière
« siliceuse disséminée en particules très-fines : car il semble
« peu probable que les très-faibles proportions d'alumine,
« de magnésie, et d'oxide de fer, qui peuvent s'y trouver,
« aient une influence très-notable sur ses propriétés. »

Nous terminons ici la tâche que nous nous étions imposée de rappeler à l'Académie les travaux de tous ceux qui, sous un point de vue quelconque, se sont occupés du même objet que celui du Mémoire dont il nous reste à rendre compte. En résumant ce que nous avons dit, on voit que toutes les recherches faites jusqu'à-présent sur les mortiers hydrauliques, portent, ou sur l'espèce de chaux que l'on doit employer dans leur fabrication, et la manière d'y suppléer, ou sur la substitution de quelques matières indigènes aux pouzzolanes étrangères; ou bien enfin sur les causes de l'endurcissement plus ou moins rapide de ces préparations,

soit à l'air libre, soit pendant leur immersion sous les eaux. M. Vicat s'est proposé de résoudre ces diverses questions; l'Académie va juger jusqu'à quel point il s'est approché du but qu'il s'était proposé d'atteindre.

Le travail de cet ingénieur est divisé en trois sections : la première, qui traite de *la chaux*, comprend elle-même plusieurs chapitres dans lesquels l'auteur s'occupe successivement des différentes espèces de chaux de construction, des pierres qui la fournissent, de l'action que le feu exerce sur elles, des procédés divers d'éteindre la chaux vive, et des phénomènes qui en résultent; enfin de la combinaison de l'eau avec la chaux, et de l'influence de ce liquide et de l'air atmosphérique sur ces hydrates. Nous allons entrer dans quelques détails sur les divers objets que nous venons d'indiquer.

L'auteur distingue d'abord les deux espèces de chaux dont nous avons déja parlé; celle appelée *chaux grasse*, et celle qui, connue sous le nom de *chaux maigre*, a la propriété de prendre corps sous l'eau, et d'être par là essentiellement propre aux constructions hydrauliques.

La première, submergée sous un volume d'eau surabondant, en absorbe, pour s'éteindre, de deux fois et demie à trois fois et demie son poids; la seconde, placée dans la même circonstance, n'absorbe guère, pour son extinction, que la moitié moins d'eau.

La chaux maigre, réduite en bouillie liquide, et immergée ensuite, rejette une partie de l'eau qu'elle contient : elle en absorbe, au contraire, une nouvelle quantité, si, au lieu d'être réduite en bouillie liquide, on l'a amenée, par l'extinction, à l'état de pâte ferme. « Il existe donc, dit l'auteur,

« entre ces deux extrêmes, un degré moyen de consistance « pâteuse dans lequel il n'y a ni rejet, ni absorption d'eau : « ainsi les principes qui constituent les chaux *maigres* ou *hy-« drauliques,* tendent à s'unir chimiquement par l'intermède « d'une quantité déterminée d'eau qui passe à l'état solide ; « elles n'ont pas besoin, par conséquent, pour durcir, du « contact de l'air, et de la dessication qui en est la suite.

« Les chaux communes ou *grasses,* saisissant, au contraire, « dans les mêmes circonstances, beaucoup plus d'eau qu'elles « n'en peuvent solidifier, et n'ayant point la faculté de rejeter « celle qui leur est superflue, restent constamment à l'état de « pâte molle, non-seulement sous l'eau, mais encore dans les « bassins imperméables où on les a tenues couvertes de terre « ou de sable. »

L'auteur, après l'indication de ces caractères essentiels, observe que les qualités de la chaux changent non-seulement d'un canton à l'autre, mais encore dans la même carrière ; il rappelle les opinions de Bergman et de Guyton sur l'influence du manganèse ; celle de Saussure sur l'influence de la silice et de l'alumine ; enfin celle de Descotils sur l'influence de la silice seulement, pour donner à la chaux la qualité de *chaux maigre.* Il observe que si la pierre de Senonches contient un quart de silice, celle de Metz, qui lui est supérieure en qualité, n'en contient guère qu'un vingtième ; d'où il conclut qu'il reste encore quelque incertitude sur les meilleures proportions de la silice et de l'alumine dans la formation de la chaux maigre. Il annonce, au surplus, s'être assuré, par des essais multipliés, que la présence des oxides de fer et de manganèse n'est point indispensable.

Puisque l'on connaît les substances que les chaux maigres

présentent à l'analyse, ne serait-il pas possible d'en former artificiellement? L'auteur s'est d'abord proposé cette question importante; et, n'étant point satisfait des procédés qui avaient été indiqués par Guyton, comme nous l'avons dit plus haut, il s'est dirigé par les indications de Saussure dans la synthèse qui l'a conduit à la solution qu'il cherchait. Il a laissé se réduire à l'air en poudre fine la chaux ordinaire qu'il se proposait de modifier; cette poudre a été ensuite pétrie, à l'aide d'un peu d'eau avec de l'argile grise ou brune, ou même de la terre à brique; on a formé de ce mélange pâteux des boules que l'on a soumises à une seconde calcination. C'est ce produit qui, étant employé comme la chaux naturelle, jouit éminemment de la propriété de composer des ciments hydrauliques. Ici M. Vicat s'attache à montrer, et il est aisé de le concevoir, qu'un mélange de chaux grasse et d'argile, cuites séparément, ne jouissent point de cette propriété; elle est due uniquement à une modification que l'action du feu fait éprouver à ces substances dans leur contact pendant leur calcination commune.

L'opinion de l'auteur s'accorde en cela avec celle de Collet Descotils; mais celui-ci n'avait étendu cette théorie qu'à l'action mutuelle de la chaux et de la silice. M. Vicat l'étend encore à l'action de la chaux mélangée de silice et d'alumine. Il a découvert de plus, par l'analyse comparée des pierres à chaux maigre de Montélimart, département de la Drôme, et de Calviac, département de la Dordogne, que la première, dans laquelle la silice se trouve à l'état de molécules impalpables, devenait, par la calcination, éminemment hydraulique; tandis que la seconde, où la silice se trouve à l'état de sablon grenu, n'acquiert point la propriété de prendre corps dans l'eau. Il

5.

décrit ensuite les divers changements de couleur que les pierres calcaires éprouvent pendant leur cuisson, les caractères auxquels on reconnaît que cette cuisson est parvenue au degré convenable; et il observe qu'en dépassant ce degré dans la chaux grasse ordinaire, on peut l'amener à un certain point de *surcalcination* tel que, si on la réduit en poudre fine, et qu'on en forme une pâte ductile en l'arrosant avec de l'eau, cette pâte, étant immergée, aura la propriété de s'endurcir; fait extrêmement remarquable, mais qui a besoin d'être vérifié par de nouvelles expériences.

Des phénomènes de la calcination M. Vicat passe à ceux de l'extinction de la chaux, et en décrit les différents procédés; celui communément usité consiste, comme on sait, à mettre les morceaux de chaux vive dans un bassin creusé sur le sol, et à les couvrir d'une quantité d'eau surabondante, de manière à en former, par la trituration avec le rabot, une espèce de fluide laiteux. Les *chaux grasses* peuvent acquérir ainsi un volume plus que triple, tandis que celui de certaines chaux maigres n'augmente que d'un cinquième.

Le second procédé est celui que M. de la Faye annonça en 1777 comme le secret des mortiers romains. Il consiste à plonger la chaux vive pendant quelques secondes dans l'eau, d'où on la retire avant qu'elle commence à fuser; elle répand des vapeurs brûlantes, et se réduit en une poudre qui, susceptible de se conserver long-temps à l'abri de l'humidité, ne s'échauffe plus quand on la détrempe. Un kilogramme de *chaux grasse* éteinte ainsi par immersion, ne retient communément que cent quatre-vingts grammes d'eau, tandis que les *chaux maigres* peuvent en retenir jusqu'à trois cent cinquante grammes : les phénomènes se présentent, comme

on voit, en sens inverse de ceux que manifestent ces deux espèces de chaux quand on les éteint à la manière ordinaire.

Enfin le troisième procédé d'extinction de la chaux se réduit à la laisser fuser librement par l'action lente et continue de l'atmosphère. Il s'en dégage un léger degré de chaleur, sans vapeurs visibles. Si l'on réduit en pâte d'égale consistance un kilogramme des deux espèces de chaux éteintes à l'air, on trouve que la *chaux grasse* exige environ un kilogramme et demi d'eau, tandis que la *chaux maigre* n'en exige que sept cents grammes environ. Un tableau comparatif des résultats obtenus par ces trois procédés d'extinction d'un poids donné de *chaux grasse* et de *chaux maigre*, prouve que l'on peut en former des pâtes d'égale consistance, en employant des quantités d'eau bien différentes; ce que M. Vicat explique par les différents degrés de ténuité auxquels les molécules calcaires sont amenées suivant le procédé d'extinction qu'on a suivi.

Passant ensuite à l'examen des hydrates de chaux, il rapporte qu'ayant formé de leurs pâtes, obtenues ainsi qu'on vient de le dire, de petits prismes quadrangulaires, ils ont été exposés à la chaleur solaire de l'été; leur surface s'est couverte d'une légère croûte de carbonate de chaux, dont on les a dépouillés, après quoi on les a soumis à l'épreuve d'une machine de rupture; et l'on a trouvé que leur dureté, pour ceux de *chaux grasse*, décroissait successivement, selon qu'elle avait été éteinte par le procédé ordinaire, ou spontanément à l'air libre, ou par immersion; dans les hydrates de *chaux maigre*, au contraire, la dureté décroissait suivant que l'extinction de cette chaux avait eu lieu par les

procédés ordinaires, ou par immersion, ou spontanément. Quoique les duretés des hydrates obtenues par les deux derniers procédés d'extinction se présentent en sens inverse dans les hydrates de *chaux grasse* et de *chaux maigre*, l'un et l'autre ont cela de commun que l'extinction ordinaire de la chaux dont ils sont formés les rend susceptibles du *maximum* de dureté qu'ils puissent atteindre, c'est-à-dire que le procédé qui divise le mieux la chaux est aussi celui qui donne aux hydrates la plus grande résistance; résultat conforme, d'ailleurs, à ce principe de chimie, *que l'union des parties constituantes d'un composé est d'autant plus intime que ses parties sont plus ténues.*

Quant à l'altération que les hydrates de chaux éprouvent à l'air libre en s'emparant de l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère, M. Vicat s'est assuré que la croûte de ces préparations qui passait, par cette combinaison, à l'état de carbonate, n'était guère, au bout d'un an, que de six millimètres pour la *chaux maigre*, et à peine de trois pour la *chaux grasse.* L'intérieur de ces corps reste à l'état d'hydrate. Il y a seulement cette différence, que ceux de *chaux grasse* peuvent acquérir à l'air un degré de consistance qui les rend susceptibles de poli, tandis que ceux de *chaux maigre* demeurent friables. Le contraire arrive lorsqu'on les immerge: les premiers se dissolvent, tandis que les seconds s'endurcissent.

La seconde section du Mémoire de M. Vicat a pour objet les bétons ou mortiers hydrauliques : il y traite successivement des pouzzolanes, et de leur degré de cuisson quand elles sont un produit de l'art; de l'influence des proportions de la chaux sur les autres matières dont les bétons sont com-

posés ; de celle qu'elle exerce suivant les procédés de son extinction ; de l'action de l'eau sur la surface des bétons qui y est exposée ; enfin de l'influence du temps sur le degré de consistance qu'ils peuvent acquérir.

L'auteur comprend sous la dénomination commune de *pouzzolanes* toutes les matières qui, formées, dans différentes proportions, de silice, d'alumine, d'oxide de fer, et quelquefois de petites quantités de chaux, de magnésie et d'oxide de manganèse ont été soumises à un feu de calcination. En considérant ces matières comme des combinaisons d'oxides métalliques, qui s'y trouvent au moins au nombre de quatre, il observe que, par le nombre effrayant d'essais qu'il faudrait entreprendre, il n'y a pas d'apparence que l'on parvienne jamais à déterminer les meilleures proportions dans lesquelles ces oxides doivent être combinés pour donner le meilleur composé ; mais qu'heureusement, en se renfermant dans les bornes que la pratique a posées, il reste encore un vaste champ d'expériences à parcourir.

Après avoir broyé, à l'aide de pilons, les pouzzolanes qu'il a mises à l'épreuve, il en a formé, avec la chaux, des pâtes au même degré de consistance que l'argile des potiers à l'instant où ils la mettent en œuvre. Les échantillons sur lesquels il a opéré, et qui se sont trouvés quelquefois sous ses yeux au nombre de plusieurs centaines, ont été mis dans des gobelets de verre de dix centimètres de hauteur et de sept à huit de diamètre. Ils ont été immergés sous une eau pure. On les a soumis à deux observations principales : l'une, du temps nécessaire pour les faire parvenir de leur état de mollesse primitif, à un degré de consistance déterminé ; l'autre, de leurs duretés relatives à différentes époques. Nous

croyons superflu de nous arrêter à décrire les moyens qu'il a employés pour ces obervations, dont plusieurs tableaux présentent les résultats; nous dirons seulement que ces moyens se réduisent à faire entrer dans ces bétons la pointe d'une tige d'acier fondu posée sur leur surface, en laissant tomber sur cette tige un poids constant d'une hauteur déterminée, et à mesurer la profondeur de son enfoncement. Ces notions préliminaires posées, il rapporte des expériences desquelles il résulte que l'argile ferrugineuse, les cendres de houille, le schiste bleu et le basalte doivent éprouver des degrés de cuisson différents, pour donner avec la *chaux grasse* les meilleurs bétons que l'on puisse en composer; il rappelle ensuite que la *chaux grasse* et la *chaux maigre* doivent y entrer dans des proportions différentes, en observant que la détermination de ces proportions dépend de la nature des matières que l'on emploie; matières dont la variété presque infinie ôte tout espoir de prescrire sur cet objet des règles générales suffisamment fondées. L'expérience l'a cependant conduit à conclure, contre l'opinion commune, que, pour tous les bétons à *chaux grasse,* et même à *chaux moyenne,* il vaut mieux pécher par défaut de chaux que par excès. Le tableau des expériences à l'aide desquelles il est parvenu à cette conclusion, prouve que l'on peut, par des proportions convenables des matières que l'on emploie, décupler la résistance des bétons; ce qui mérite bien, dit-il, qu'on y fasse attention.

Les effets de l'extinction de la chaux, suivant le procédé qu'on a suivi et la théorie de ces effets, paraissent sur-tout avoir fixé la sienne. Il démontre, par de nombreuses observations dont plusieurs tableaux présentent le détail, que l'ex-

tinction par immersion et l'extinction spontanée l'emportent sur l'extinction ordinaire pour les *chaux communes très-grasses* et pour les *chaux moyennes*, de telle sorte néanmoins, qu'à mesure que le gras de la chaux diminue, les résistances propres à chacun de ces procédés d'extinction, diminuent aussi : d'où il suit qu'il y a telle espèce de chaux pour laquelle le procédé d'extinction est indifférent; passé ce terme, les différences entre les résistances provenant des divers procédés d'extinction, de positives qu'elles étaient d'abord, deviennent négatives. Cette dernière partie de l'échelle appartient aux chaux éminemment hydrauliques.

M. Vicat admet, pour expliquer ces phénomènes, 1° qu'il s'opère une espèce de compression dans la masse du béton, par l'augmentation de volume que la chaux continue d'acquérir quand l'extinction ne l'a pas portée du premier coup au dernier terme de division dont elle est susceptible; 2° que les éléments qui composent le béton exercent réciproquement les uns sur les autres une action chimique. Il pense qu'il y a des cas où il faut sacrifier à l'intensité de la combinaison ce qu'on pourrait obtenir de la compression, et d'autres cas où il faut suivre une marche contraire; le choix du parti à prendre est subordonné à l'énergie des matières que l'on emploie. Un des faits les plus remarquables que l'auteur ait observés, c'est qu'une longue exposition à l'air, sous un hangar fermé aux vents et à la pluie, donne aux chaux très-grasses, éteintes spontanément, des propriétés hydrauliques très-prononcées.

Le chapitre de la seconde section dans lequel l'auteur recherche l'influence réciproque de la chaux et de la pouzzolane, n'offre pas des faits moins curieux. « On ne peut con-

« tester, dit-il, que parmi toutes les manières de combiner « en diverses proportions les cinq ou six oxides qui consti- « tuent les bétons, il n'en soit une qui donne le composé le « plus solide. Cela posé, plus les combinaisons fortuites des « pouzzolanes et des chaux de construction s'approchent de « ces proportions inconnues, plus aussi les bétons qui en ré- « sultent offrent de dureté : or il peut arriver que la chaux « contienne déja, et dans l'état convenable, une grande partie « des oxides nécessaires, ou qu'elle n'en contienne que très- « peu, ou même point du tout. On conçoit que, dans le « premier cas, la présence d'une bonne pouzzolane peut ame- « ner une superfluité plus nuisible qu'utile; tandis que, dans « le second, elle produira tout l'effet desirable. L'influence « des proportions s'explique aussi de la même manière.

« Le raisonnement et l'expérience indiquent donc, d'un « commun accord, que si l'on range sur une même ligne, « par ordre d'énergie, toutes les chaux connues, il faudra « placer les pouzzolanes sur une ligne parallèle, et dans un « ordre inverse, pour que les termes qui se correspondent « sur cette échelle donnent ensemble les meilleurs résultats « possibles. Ainsi les chaux hydrauliques de première qua- « lité seraient en présence des sables éminemment quartzeux; « et les chaux communes très-grasses, vis-à-vis des pouzzolanes « d'une grande énergie. »

M. Vicat explique par-là certaines expériences qui semblent faire prévaloir quelques pouzzolanes sur d'autres dans un lieu, tandis qu'ailleurs celles que l'on avait trouvées de moindre qualité reprennent l'avantage; cela tient aux espèces différentes de chaux avec lesquelles on les combine. Après avoir prouvé par des exemples la généralité de cette

règle, l'auteur rend compte des expériences dans lesquelles il a suivi les progrès de la détérioration de mauvais ciments hydrauliques par l'action continue de l'eau. Il tire des faits qu'il a observés l'explication des affouillements qui peuvent, dans certains cas, entraîner la destruction d'ouvrages fondés dans l'eau sur des massifs de béton.

Un chapitre intitulé : *De l'influence du temps,* termine la seconde section du Mémoire. L'auteur y expose les observations qu'il a faites pendant trois ans consécutifs sur les progrès de l'endurcissement d'un très-grand nombre d'échantillons de mortiers hydrauliques. Il en résulte que les bétons à *chaux grasse* ou *commune* font plus de progrès vers leur solidification, de la seconde à la troisième année, que de la première à la seconde; ce qui prouve la marche accélérée du phénomène. Elle l'est également encore, mais d'une manière moins sensible, dans les bétons à *chaux moyenne,* tandis que, pour ceux à *chaux maigre* éminemment *hydraulique,* les progrès de l'endurcissement sont déja retardés aux mêmes époques. Ainsi, quelles que soient les pouzzolanes mises en œuvre, les bétons à *chaux maigre* acquièrent toujours leur *maximum* de dureté plus tôt que les bétons à *chaux grasse.*

La troisième et dernière section est consacrée aux mortiers ordinaires, ou *mortiers blancs.* L'auteur y examine successivement les fonctions du sable siliceux qui entre dans leur composition; l'influence de la grosseur de leurs grains, de la dessication naturelle retardée ou accélérée; des divers procédés d'extinction de la chaux, de ses proportions avec le sable, de la manipulation de leur mélange. Il examine aussi l'action des intempéries et celle du temps; ce qui le conduit naturellement à comparer entre eux des mortiers de diffé-

6.

rents âges, antiques et modernes. Après une exposition succincte des diverses théories à l'aide desquelles on a essayé d'expliquer l'endurcissement de ces préparations, il observe avec raison que les expériences sur lesquelles sont fondées ces diverses explications n'ayant point été faites ordinairement dans des circonstances semblables, ne sont point comparables entre elles. Il fait remarquer, comme une conséquence d'un grand nombre d'observations dont il présente le tableau, d'abord que les chaux qui forment, par le seul concours de l'eau, les corps les plus solides, sont celles d'où résultent, au contraire, les mortiers les plus faibles; en second lieu, que dans la fabrication du mortier le sable quartzeux est utile à quelques espèces de chaux, nuisible à d'autres, et indifférent à quelques-unes, selon, dit-il, que ces chaux ont la propriété d'exercer sur les molécules de quartz une action chimique supérieure, inférieure, ou égale à celle qu'elles exercent sur leurs propres parties. Les *chaux hydrauliques,* qui ne sont employées ordinairement que dans la composition des bétons, peuvent, au surplus, être employées avec le même avantage dans les constructions à l'air: car l'action du feu, déterminant la proportion de silice et d'alumine, mêlées à la matière purement calcaire, à passer à un nouvel état, donne au composé qui en résulte la faculté d'agir chimiquement, par l'intermède de l'eau, sur de nouvelles substances siliceuses, à l'état de sable : ainsi une modification préalable par la voie sèche de la chaux, de la silice et de l'alumine, dispose la chaux à se combiner ensuite, par la voie humide, avec une certaine quantité de ces mêmes matières; phénomène singulièrement remarquable, par lequel les chaux hydrauliques sont essentiellement caractérisées.

C'est par cette raison que, d'après les expériences de l'auteur, il convient d'employer du sable fin pour composer avec ces chaux les meilleurs mortiers que l'on puisse en former; tandis qu'avec les *chaux grasses* ordinaires, c'est au contraire du gros sable que l'on compose les meilleurs mortiers. D'autres expériences plus concluantes que celles que l'on connaissait, ont prouvé à M. Vicat que la dessication des mortiers à l'air libre devait s'opérer lentement, et qu'on arrêtait les progrès de leur solidification quand on les faisait passer subitement d'un lieu frais et humide dans un autre chaud et sec. Nous ne suivrons point l'auteur dans les détails où il est entré, pour déterminer l'influence des procédés d'extinction des deux espèces de chaux sur la qualité des mortiers blancs; il nous suffira de dire qu'elle se manifeste précisément dans le même ordre que sur les bétons. Quant aux proportions de la chaux et du sable, elles sont subordonnées non-seulement aux procédés d'extinction que l'on a suivis, mais aussi à la place que le mortier doit occuper dans un édifice. Cependant, quelle que soit cette place à l'air libre, lorsque le mortier est composé dans certaines proportions indiquées par l'auteur, l'expérience lui a prouvé que l'endurcissement n'en était point retardé par les intempéries, et qu'il pouvait résister aux variations de la température, à quelque degré qu'elle descendît.

L'ouvrage est terminé par un parallèle curieux entre les résistances relatives de divers mortiers antiques; il prouve que leur dureté n'est pas l'ouvrage du temps seul, et qu'elle doit être attribuée sur-tout à l'excellence des matières que le hasard plaça dans les mains de ceux qui les fabriquèrent. Quelques exemples cités démontrent que si quelques anciens

édifices ont résisté jusqu'à présent aux outrages du temps par la bonne composition de leurs mortiers, les mortiers ne doivent leur conservation, dans quelques autres, qu'à la bonne disposition et à l'excellente qualité des matériaux avec lesquels on les a mis en œuvre.

En achevant ce rapport, nous ajouterons que M. Vicat a profité du séjour qu'il vient de faire à Paris pour répéter, sur les matières qu'on y emploie, des expériences analogues à celles qu'il a faites dans le département du Lot. Ces expériences, dont les produits sont sous les yeux de l'Académie, ont prouvé que les chaux hydrauliques, qu'on peut former ici de toutes pièces, d'après ses procédés, l'emportent en qualité, pour la composition des bétons, sur les *chaux maigres naturelles* de Metz et de Senonches, les meilleures que l'on y connaisse et qu'on ait pu leur comparer.

L'importance du Mémoire de M. Vicat nous fait espérer que le compte qui vient d'en être rendu ne paraîtra pas s'étendre au-delà des bornes que nous devions nous prescrire. Cet ouvrage a fixé l'attention de vos commissaires, et par les faits nouveaux qu'il contient, et par la méthode et la clarté avec laquelle ils sont exposés. Les explications qui en sont données s'appuient sur les saines théories, et prouvent que l'auteur, quoique résidant dans un département éloigné de la capitale, s'est tenu constamment au courant des progrès des sciences dont il se montre très-capable de faire d'utiles applications. On ne peut manquer de concourir soi-même à leur avancement, quand, avec un esprit investigateur comme celui dont M. Vicat paraît doué, on entreprend d'éclairer de leurs lumières la pratique de l'art qu'on exerce. Les ingénieurs placés dans des circonstances semblables sur les dif-

férents points du royaume, lui devront de la reconnaissance, et par les résultats du travail qu'il leur offre, et par l'exemple qu'il leur donne. Nous pensons que, sous tous les rapports, son ouvrage mérite d'être approuvé par l'Académie, et d'être inséré dans le recueil des savants étrangers.

Fait à l'Académie royale des sciences, le 16 février 1818.

DE PRONY; GAY-LUSSAC.

GIRARD, *rapporteur.*

INSTITUT ROYAL DE FRANCE.

ACADÉMIE ROYALE
DES SCIENCES.

PRÉCIS HISTORIQUE
SUR
LA NAVIGATION INTÉRIEURE.

Lu, par M. GIRARD, dans la séance publique de l'Académie royale des Sciences, le 16 mars 1818.



De tous les avantages que les nations modernes doivent à l'avancement des sciences, les plus éminens dérivent des nombreuses applications que l'on a faites de l'hydraulique aux besoins de la société; et parmi ces applications l'une des plus importantes se montre dans l'art de pratiquer des canaux navigables entre des contrées plus ou moins éloignées, auxquelles la nature avait refusé le secours de communications faciles.

Si l'histoire des tentatives faites pour explorer le globe et pour établir par des navigations lointaines des relations d'intérêt commun entre ses diverses régions, est plus propre qu'aucune autre histoire à tenir l'attention captive; si le récit des fatigues et des dangers qu'il faut surmonter pendant ces voyages de long

cours, élève autant notre esprit qu'il flatte notre imagination par l'idée que nous y puisons sans cesse de l'audace et de la puissance humaines; ce n'est pas non plus sans quelque satisfaction, que l'on suit la marche de la civilisation générale dans les accroissemens du commerce intérieur des nations, et que l'on retrouve, dans les différentes voies qui lui ont été successivement ouvertes, quelquefois les heureuses conceptions du génie, mais toujours une preuve évidente des progrès de notre raison.

Le cours des grands fleuves offrait aux premières peuplades qui s'établirent sur leurs bords un moyen si naturel de transporter d'un lieu à un autre, les produits de leur sol et de leur industrie naissante, que, sans doute, elles ne tardèrent point à profiter de cette position pour multiplier leurs échanges; l'art de ces premiers navigateurs, se perfectionna naturellement par le soin qu'ils durent prendre d'assurer leur conservation sur un élément auquel ils ne pouvaient se confier sans péril. La forme des premiers radeaux qu'ils avaient construits s'améliora bientôt, et bientôt ils imaginèrent de s'aider de la force des vents, pour remonter le courant par lequel ils s'étaient contentés d'abord de se laisser entraîner.

Voilà du moins ce qu'il est permis de conclure des monumens de l'histoire. Les plus anciens nous ont transmis, sur les pages hyéroglyphiques dont les temples de l'Égypte sont décorés, la forme des bateaux qui naviguaient sur le Nil; on les y voit pourvus d'un gouvernail et de leurs agrès les plus nécessaires, montés de rameurs, ou cinglant à pleines voiles; ainsi à l'époque reculée où ces pages furent écrites, les Égyptiens savaient déja appliquer des connaissances de mécanique assez élevées à l'un des arts les plus utiles.

Quoique nous ne trouvions chez aucun autre peuple des preuves aussi péremptoires de l'antiquité de cet art, il est néanmoins extrêmement probable qu'il n'aura été négligé nulle part, et qu'il remonte par-tout aux premiers siècles de la civilisation.

Mais il fallait qu'elle fût déja parvenue à un certain degré pour que l'idée se présentât de creuser des canaux artificiels, là où la nature s'était refusée à ouvrir des vallées, et à faire couler des fleuves.

C'est encore en Égypte que le premier projet d'un pareil canal fut conçu à dessein d'établir à travers l'isthme de Suez une communication entre la mer Rouge et la Méditerranée. Les vestiges que l'on en retrouve, et les témoignages de tous les auteurs anciens, ne laissent aucun doute sur un commencement d'exécution de ce projet. Mais est-il également prouvé que les travaux en furent achevés? Ici le doute est permis, ou plutôt il est aisé de se convaincre, par un simple examen des faits dont le récit nous a été transmis, du peu de succès qu'on obtint des travaux dont il est question.

Ce que nous refusons à l'Égypte déja civilisée, nous ne l'accorderons point à la Grèce encore barbare, et d'ailleurs elle n'eut jamais besoin, pour établir des communications entre ses diverses parties, d'y ouvrir des canaux intérieurs, leur configuration s'y refusait autant que la nature de leur sol.

Les tentatives faites pour couper l'isthme de Corinthe se réduisirent donc toujours aux efforts inutiles d'une vaine ostentation de pouvoir.

Alexandre fit usage du sien dans l'intérêt d'une politique bien plus éclairée quand, après avoir reconnu par lui-même le cours du Tigre et celui de l'Euphrate, il ordonna de détruire les barrages dont les anciens rois de Perse avaient fermé l'embouchure de ces fleuves, pour interdire à leurs sujets le commerce maritime. L'idée de faire arriver par cette voie les productions de l'Inde au centre de l'Asie, annonce les grandes vues de ce conquérant : vues dont il transmit l'héritage à l'un de ses plus illustres capitaines le premier des Séleucides qui forma le projet de joindre par un canal la mer Caspienne et le Pont-Euxin. 1.

Les Romains n'en conçurent aucun d'une aussi haute importance; ils se bornèrent à profiter de la navigation du Tibre, et à rendre navigables, par quelques creusemens, plusieurs affluens de ce fleuve, pour faciliter le transport des matériaux de construction que l'Apennin leur fournissait.

Mais ces premiers efforts de l'art, à l'aide desquels la navigation fluviale s'étendit en Italie, n'eurent pour objet que l'avantage exclusif de Rome, qui dédaigna toujours de s'enrichir de la prospérité des provinces. Lorsque Drusus, le frère de Tibère, employa ses légions à rendre navigable le bras du Rhin appelé l'Issel, lorsque Vétus, l'un des généraux de Néron, entreprit de réunir par un canal la Saône à la Moselle, ce fut pour prévenir les séditions auxquelles l'oisiveté de leurs troupes les auraient exposés, ou pour rendre plus faciles des expéditions militaires.

Ces généraux n'eurent au surplus qu'à laisser les choses telles que César les avait trouvées dans les Gaules quand il en fit la conquête. On voit par la description que Strabon nous en a laissée que non-seulement l'agriculture y était florissante, mais encore que l'on y transportait par eau toutes les productions du sol. Ce géographe indique sur quelle longueur les fleuves étaient navigables, il désigne ceux qui portaient les plus grands bateaux, et les ruisseaux sur lesquels on ne voyait flotter que de simples nacelles. Ces communications naturelles, restées ouvertes dans les Gaules sous la domination romaine, continuèrent d'y être entretenues par les soins d'une police attentive; il y avait des corporations formées de ceux qui naviguaient sur les rivières, comme le prouve de la manière la plus authentique cet autel dédié à Jupiter sous le règne de Tibère par les *Nautæ Parisiaci;* monument précieux d'antiquité qu'on a retrouvé au commencement du siècle dernier, et qui ne permet pas de douter qu'à cette époque l'île de *Lutetia* servait d'entrepôt au commerce considérable qui se faisait par la Seine.

L'usage des moulins à eau s'introduisit en Occident vers la fin du IVe siècle. L'économie que ces ingénieuses machines apportaient dans le travail des hommes ou des animaux ne tarda pas à les multiplier, et probablement le cours de quelques petites rivières dont la navigation incertaine et précaire ne méritait pas d'être conservée, avait déja été obstrué par les barrages nécessaires à l'établissement de ces usines, lorsque les Francs envahirent les Gaules. On sait quelles furent les suites de cette invasion. La civilisation parut rétrograder jusqu'au règne de Charlemagne dont toutes les institutions semblent autant d'efforts pour lui faire reprendre sa marche. Il répara les anciennes voies romaines que la reine Brunehault avait restaurées quelques siècles auparavant, mais il n'essaya pas de rétablir les anciennes communications par eau. Son génie se fixa sur un projet plus vaste: celui de réunir la mer du Nord à la mer Noire en joignant le Rhin au Danube au moyen de leurs affluens entre Nuremberg et Ingolstadt. Ses historiens racontent qu'il commença à mettre cette idée à exécution en 793, et qu'il y employait une partie de son armée lorsque l'invasion des Sarrasins et une nouvelle insurrection des Saxons l'obligèrent d'y renoncer.

La France, livrée vers la fin de la deuxième race à tous les abus du pouvoir féodal, n'offrait au commerce intérieur aucune communication facile. Les grands propriétaires des terres s'étant aussi attribué la propriété exclusive des cours d'eau qui traversaient leurs domaines, en obstruèrent un grand nombre par des constructions de moulins où ils obligeaient leurs vassaux de réduire leurs grains en farine; tandis que des péages onéreux établis sur les rivières qui étaient restées navigables se renouvelaient sous différentes dénominations toutes les fois que l'on passait du territoire d'un seigneur dans le territoire de son voisin, et élevaient le prix des marchandises que l'on transportait ainsi, à des prix que la plupart des consommateurs ne pou-

vaient atteindre. Les communications par terre présentaient bien d'autres difficultés. On se formera une ideé exacte de ce qu'elles étaient dans le XIIe siècle si l'on se rappelle que la ville de Paris fut pavée, pour la première fois, par ordre de Philippe-Auguste, et qu'avant le règne de ce prince les rues de cette capitale n'étaient tracées que par les ornières profondes où se traînaient les voitures qui les parcouraient; qu'on juge d'après cela de l'état des chemins qui traversaient l'intérieur du pays.

Voilà comment malgré les nombreux obstacles dont la navigation des grandes rivières était entravée, ces rivières restèrent encore la seule voie ouverte au commerce intérieur. Cependant on fut obligé d'amener sur leurs bords à l'aide de charrois lents et difficiles, les denrées que l'on devait y embarquer: et, comme la saison la plus propre à ces charrois était précisément celle des sécheresses, c'est-à-dire celle qui ne permettait la navigation qu'aux plus petits bateaux, au lieu d'expédier ces denrées par petites cargaisons à mesure de leur arrivée, on les tint approvisionnées dans les entrepôts où elles se rendaient, jusqu'à ce qu'on pût en completter le chargement de bateaux plus grands, propres à naviguer commodément dans l'intervalle des basses eaux et des débordemens. Il ne fallut ainsi qu'un très-petit nombre de ces bateaux pour apporter pendant une certaine saison, aux divers centres de consommation vers lesquels on les dirigeait, l'approvisionnement de toute l'année. Ce mode de circulation des marchandises, peu convenable sans doute à l'activité des relations commerciales de nos temps modernes, était, il est vrai, sans inconvénient grave dans des siècles où presque toute la population de l'Europe s'était portée en Palestine : les guerres qui divisèrent les princes chrétiens au retour des croisades ne laissèrent pas le temps de soupçonner que cet état de choses pût être amélioré. La France ellemême ne commença à respirer que sous Charles VII, qui eut à

réparer de trop grands malheurs pour entreprendre utilement d'encourager l'agriculture et l'industrie. Enfin Louis XI occupé d'autres soins ne s'appliqua guère à ce qui pouvait accroître la prospérité publique et laissa les communications intérieures du royaume en aussi mauvais état qu'il les avait trouvées.

Cependant les plus mémorables événemens devaient signaler cette époque. Une fermentation extraordinaire mettait tous les esprits en mouvement, et présageait la marche accélérée que la civilisation générale allait prendre désormais. Les lettres renaissaient en Italie; l'imprimerie venait d'être inventée sur les bords du Rhin; et, tandis que Vasco de Gama et Christophe Colomb ouvraient au commerce extérieur de l'Europe une route et des contrées inconnues, deux mécaniciens obscurs de Viterbe préparaient la future extension du commerce intérieur de tous les peuples, en appliquant, pour la première fois, la découverte des écluses qui leur est attribuée, à l'un des canaux du territoire de Venise, où l'accumulation des richesses avait depuis long-temps appelé l'industrie et les arts.

C'est de cette découverte qu'il nous reste à développer les avantages et à suivre les progrès.

Nous venons de dire qu'après des tentatives infructueuses, faites par les anciens pour ouvrir en différentes contrées des canaux artificiels, un grand nombre de cours d'eau avaient été barrés, dans le moyen âge, pour les intérêts particuliers de ceux qui jouissaient exclusivement du droit de construire des moulins. De sorte que la navigation n'était restée praticable que sur les seules grandes rivières; mais ces rivières, destinées au dessèchement des terres, remplissent d'autant mieux ce but de la nature, que le tribut annuel des pluies qu'elles reçoivent, s'écoule à la mer avec plus de rapidité, et cette rapidité même rend plus difficile la navigation ascendante à laquelle les be-

soins du commerce intérieur exigeraient qu'elles pussent servir. D'un autre côté le volume de leurs eaux s'atténuant à mesure qu'on approche de leur origine, il devient impossible de les remonter jusqu'au pied des montagnes où elles prennent leurs sources. Ainsi des obstacles naturels se seraient opposés à jamais à ce que la navigation se prolongeât du bassin d'un fleuve dans celui d'un autre, pour former sur nos continens un système continu de communications par eau; si l'on n'était pas parvenu à élever jusqu'au sommet des hauteurs qui forment la limite de ces bassins, les mêmes bateaux auxquels les parties les plus profondes des vallées avaient jusqu'alors servi de routes. C'est ici que l'art commence à entrer sur le domaine de la science, par une application de l'hydraulique qu'on ne saurait trop apprécier.

Les chaînes de montagnes qui séparent les bassins des fleuves présentent, comme on sait, dans le sens de leur longueur, des pics plus ou moins élevés entre lesquels s'étendent ordinairement des plaines presque horizontales, où se rassemblent, avant de s'écouler dans les vallées, les eaux qui proviennent ou des pluies ou de la fonte des neiges.

Mais, si au lieu de laisser écouler librement ces eaux, on les force de s'accumuler sur la partie la plus basse du plateau qui les reçoit dans un réservoir d'une capacité déterminée, et que l'on dérive de ce réservoir un certain volume d'eau pour le verser dans les bassins opposés, on conçoit que l'on pourra distribuer la pente des canaux artificiels où les eaux seront reçues, de telle sorte que le cours en soit accéléré ou retardé à volonté.

Or, pour remplir ce premier objet, il suffit de soutenir ces canaux artificiels depuis le réservoir commun qui les alimente, jusqu'au fond des vallées où ils doivent aboutir chacun de leur côté, sur le penchant des collines qui bordent ces vallées, au

moyen de barrages consécutifs. On conçoit que le cours naturel des eaux dérivées du point de partage, se trouve ainsi transformé en une suite de réservoirs partiels, disposés en échelons, les uns au-dessus des autres, de façon que le volume d'eau qui s'écoule de l'un, peut sur-le-champ être remplacé par un volume égal pris dans celui qui lui est immédiatement supérieur, et cela jusqu'au point le plus élevé du système. Ainsi, la hauteur de l'eau pouvant être rendue invariable dans tous ces réservoirs partiels, chacun d'eux présente isolément un espace que des bateaux peuvent parcourir avec la même facilité dans quelque sens qu'on les fasse mouvoir.

La difficulté se trouve réduite à faire franchir, par le même bateau, cette série de barrages, pour arriver du point le plus bas du canal jusqu'à la chaîne de montagues qu'il doit traverser. C'est la composition de ces barrages, et le mécanisme à l'aide duquel on peut les tenir alternativement ouverts ou fermés, qui constituent l'espèce de construction à laquelle on a donné le nom d'*Écluse ;* construction trop généralement connue pour que nous nous arrêtions à la décrire. Il nous suffit d'en avoir indiqué l'objet.

On sait déja que les premières écluses furent construites dans le territoire de Venise. Les Flamands et les Hollandais en construisirent presqu'en même temps; bientôt après Léonard-de-Vinci, qui réunissait, au génie auquel il doit sa célébrité, les talens d'un architecte et les connaissances d'un ingénieur, en établit quelques-unes sur un canal du duché de Milan, pendant que ce pays était occupé par Louis XII; mais il était réservé à Henri IV, et à son immortel ministre, de faire participer la France à l'heureuse invention des canaux à points de partage. Ils accueillirent le projet du canal de Briare, au moyen duquel on proposa de joindre la Seine à la Loire, afin de faciliter l'approvisionnement de Paris. Ce projet se liait à celui d'ouvrir,

entre la Loire et la Saône, un autre canal qui aurait traversé le Charolais; ainsi se serait opéré, dès ce temps-là, par la Seine, la Loire, et le Rhône, entre la Manche et la Méditerranée, une communication qui n'a été ouverte qu'à la fin du siècle dernier.

Sans nous arrêter ici aux deux canaux d'Orléans et du Loing, dont l'exécution, d'environ soixante ans postérieure à celle du canal de Briare, établit encore entre la Loire et la Seine une communication utile à l'approvisionnement de Paris; qu'il nous soit permis de fixer quelques instans l'attention sur un des plus beaux monumens du siècle de Louis XIV, le canal du Midi, qui traverse l'ancienne province de Languedoc, et joint l'Océan à la Méditerranée. Les recherches qu'il fallut faire, et les difficultés qu'il fallut vaincre pour amener au point de partage la quantité d'eau nécessaire à l'entretien d'une navigation active, les nombreux et hardis ouvrages à l'aide desquels ces difficultés furent surmontées, sont pour l'auteur du projet des titres incontestables de gloire; titres dont le faisceau s'est grossi de plus en plus par le succès même des divers canaux auxquels le canal du Midi a toujours servi de modèle dans toutes les parties de l'Europe.

Cependant, il faut l'avouer, ces succès universels qui semblent aux yeux du plus grand nombre le résultat nécessaire non-seulement des formes et des dimensions que l'on a données aux différentes parties de ce canal, mais encore du genre de magnificence dont leur construction porte le caractère, nous ont peut-être détournés jusqu'à-présent de la véritable route qu'il fallait suivre pour étendre les avantages de la navigation intérieure à toutes les localités que la nature semble avoir destinées à en profiter. Parce qu'on a vu des bâtimens capables de tenir la mer, franchir le col où se rattachent les Pyrénées et les Cévennes, on a cru qu'il n'y avait de canaux à ouvrir que là où l'on pourrait les rendre propres à recevoir d'aussi grands bateaux.

L'idée de ramener les canaux de navigation à n'être plus que de simples chemins sur lesquels un seul homme peut mettre en mouvement des fardeaux qui ne pourraient être transportés sur des chariots qu'à l'aide d'une force centuple, est le principe de tout perfectionnement dont la navigation intérieure soit maintenant susceptible.

Au lieu de voir flotter sur de tels canaux d'énormes barques munies d'une multitude d'agrès, il faut se réduire à n'y voir que de simples caisses rectangulaires glisser, pour ainsi dire sans frottement, sur un chemin fluide, qui en supporte le poids tout entier, et ne laisse au moteur qu'une très-faible résistance à vaincre. C'est ainsi que ces petits canaux, ou si l'on veut, ces chemins fluides, furent considérés par celui qui, ayant osé le premier en tenter l'expérience à ses propres risques, a également mérité la reconnaissance de ses compatriotes pour avoir accru la prospérité de son pays, et la reconnaissance de ses contemporains pour avoir détruit ce qu'on pourrait appeler un des préjugés de son siècle.

Le duc de *Bridgewater*, l'un des plus riches propriétaires de l'Angleterre, avait à peine atteint l'âge de sa majorité, lorsque vers l'année 1758, il conçut le projet d'ouvrir à des mines de charbon, qu'il possédait à plusieurs milles de Manchester, un débouché qui leur avait manqué jusqu'alors. Il imagina, pour cela, de rendre navigables les rigoles où sont reçues les eaux d'épuisement de ces mines. Les charbons exploités circulent en tout sens dans ces canaux souterrains, sur des caisses flottantes de quinze ou seize mètres de long, et d'un mètre et demi de largeur. Ils arrivent, en sortant de la mine, dans un bassin où se réunissent toutes ces rigoles, et qui est destiné lui-même à entretenir le canal à ciel ouvert, sur lequel ce combustible est amené à Manchester. C'était déja une grande amélioration que d'être ainsi parvenu à faire baisser le prix d'une matière aussi

précieuse, dans une ville où d'innombrables manufactures en font une prodigieuse consommation; mais les travaux ne se bornèrent pas là : l'exploitation des mines s'étant accrue par la facilité d'en transporter les produits, le duc de *Bridgewater* entreprit, pour en étendre encore l'exportation, d'ouvrir, depuis Manchester jusqu'à la mer d'Irlande, un nouveau canal parallèlement à la rivière de Mersey, qui est elle-même navigable sur une partie de son cours. Prétendre remplacer à grands frais, par une navigation artificielle, celle dont une rivière parallèle offrait naturellement le secours, parut d'abord aux habitans du pays un projet inconsidéré, et dont la malheureuse issue entraînerait infailliblement la ruine de celui qui l'entreprenait. Ils ne faisaient pas attention que si la rivière de Mersey portait à la mer, à certaines époques de l'année, beaucoup plus d'eau qu'il n'en fallait pour la navigation, elle en manquait à d'autres époques; tandis que le canal destiné à y suppléer, constamment rempli d'une eau paisible, tenue à la même hauteur, pouvait être en tout temps descendu ou remonté avec la même facilité et sans la moindre interruption; avantage inappréciable, par cela seul qu'il garantit au commerce la sûreté et la célérité de ses expéditions.

Ce ne fut pas seulement dans les préjugés populaires que le duc de *Bridgewater* trouva, sinon des obstacles, du moins des motifs de découragement qui auraient pu ralentir l'ardeur avec laquelle il poussait l'exécution de ses desseins, s'il ne leur eût opposé la persévérance de son caractère et les ressources du génie inventif de Jacques *Brindley*, mécanicien habile, qui possédait toute sa confiance. Des personnages considérables par leur naissance et leurs richesses avaient peine à concevoir comment un jeune seigneur, dans l'âge des plaisirs et de la dissipation, dédaignait de s'y livrer pour employer sa vie à des occupations aussi sérieuses, et une immense fortune à des travaux ruineux qu'ils jugeaient au moins inutiles.

Ni les préjugés de la multitude, ni les railleries du grand monde, n'ébranlèrent la constance du duc: la force de sa raison le rendait supérieur à cette épreuve, et il la soutint avec courage pendant près de trente ans; c'est à ce prix qu'il acheta le bonheur de voir l'achèvement de ses grandes entreprises, et la satisfaction de recueillir de leur immense succès des avantages qui surpassèrent ses espérances. Il est inutile de dire que ce succès changea en partisans les plus zélés les plus obstinés détracteurs. Alors commencèrent à se former à l'envi, dans toutes les parties de l'Angleterre, ces associations de capitalistes, qui, depuis un demi-siècle, ont été autorisées, par des priviléges successifs, à ouvrir, dans toutes les directions, cette multitude de canaux navigables, à l'aide desquels, par un facile échange de leurs productions mutuelles, toutes les provinces de ce pays semblent jouir de l'avantage commun d'un sol également fertile, ou d'une industrie également perfectionnée. On concevra facilement, au surplus, comment ces communications intérieures ont pu élever si haut la prospérité de l'Angleterre, quand on saura que la longueur totale de ces canaux est de plus de deux mille lieues. Il est vrai que leur largeur est souvent au-dessous de six ou sept mètres, et qu'ils n'ont de profondeur d'eau que celle indispensable au flottage des caisses qui doivent les parcourir. Mais c'est précisément en cela que consiste la perfection du système, car rien n'étant plus facile que de répartir sur plusieurs barques le chargement d'un plus grand bateau, il n'y a pas de canal si petit qu'il soit, au moyen duquel on ne puisse satisfaire aux besoins du commerce le plus étendu; tandis que, d'un autre côté, si pour établir un canal de grande navigation il faut un concours de circonstances qui se rencontrent rarement, et des sommes d'argent considérables, il n'est guère de localités sur lesquelles un canal de petites dimensions ne puisse être ouvert, tant à cause du peu de dépenses de sa première exécution, que par la

facilité de pourvoir à la consommation d'eau que son entretien exige; et encore est-il permis d'espérer que l'on parviendra quelque jour à réduire cette consommation presqu'à rien, par l'emploi de procédés analogues à ceux que *Fulton*, *Chapman*, et *Bettancourt*, ont déja proposés.

Après s'être enrichi chez nos voisins des fruits tardifs de l'expérience, le système d'une petite navigation intérieure peut être aujourd'hui introduit en France avec tous les perfectionnemens qu'il a reçus, et se lier, par les ramifications les mieux combinées, aux grands canaux qui existent déja. Si pour cette fois nous avons été devancés, du moins nous n'avons point à craindre l'incertitude du succès. Il est prouvé, depuis long-temps, que l'adoption d'un système général de communications par eau est le seul moyen d'abaisser assez le prix des transports, pour que les productions de nos diverses provinces, circulant facilement de l'une à l'autre, puissent au besoin répandre une égale abondance sur toutes. Ainsi l'intérêt de ceux qui produisent se conciliera avec l'intérêt de ceux qui consomment, et par les bénéfices particuliers de chacun d'eux, s'accroîtront les prospérités de l'état. Ouvrir, pour la première fois, une source aussi abondante d'améliorations sur toute l'étendue de notre territoire, c'est en quelque sorte en conquérir une partie; et quelle conquête est plus digne d'exciter la noble ambition d'une administration éclairée!

DE L'IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT,
IMPRIMEUR DU ROI ET DE L'INSTITUT, RUE JACOB, Nº 24.

